Prof. LUIGI DE MARCHI

LA VITA FISICA DELLA TERRA

PRESSO LA
FEDERAZIONE ITALIANA DELLE BIBLIOTECHE POPOLARI
MILANO - Via Pace, 10

PRIMA LEZIONE

L'ambiente della Terra.

In altro volume della nostra « Collana » (quello del prof. Emilio Repossi) si è visto come è nata la Terra: ora vediamo come vive.

La vita è ricambio di energia e di materia fra un organismo e l'ambiente: ricambio che tende a mantenere le funzioni vitali. Ora la Terra è un organismo entro il quale e sul quale si svolge una molteplicità di funzioni, di movimenti, di trasformazioni dovute al ricambio di energia (attrazione universale, calore, luce, energia chimica, energia elettrica e magnetica) e di materia fra la massa terrestre e lo spazio esterno in cui essa si muove, e i corpi celesti che sono distribuiti in questo spazio.

Vediamo in linee generali come si compie questo ricambio, e quali funzioni esso mantiene sulla superficie terrestre; di ciò che avviene entro la massa noi sappiamo ancora troppo poco, perchè se ne possa parlare con fondamento sicuro.

Lo spazio. — La Terra colla sua atmosfera (v. Capitolo 2°) si move in uno spazio, che si conviene di chiamare *vuoto,* perchè non contiene, distribuita in modo continuo, della materia come quella che costituisce i corpi che noi percepiamo coi nostri sensi, o la contiene in tale stato inconcepibile di tenuità, da non opporre una resistenza apprezzabile anche dai più delicati calcoli dell'astronomia.

Astri e meteoriti. — In questo spazio vuoto si movono altri corpi celesti, ma la maggior parte di essi a tale distanza, da non esercitare alcuna influenza sui movimenti della Terra; questi sono regolati in linea principale dall'attrazione del Sole, e in linea molto secondaria dagli altri corpi che costituiscono il Sistema Solare, e principalmente dal pianeta Giove che è il più grande, e dalla Luna che è la più vicina.

Infiniti altri corpi più piccoli sono certamente disseminati per lo spazio, e noi non li vediamo, soltanto perchè sono troppo piccoli, e non luminosi, come il Sole e le Stelle; se però la Terra attraversa nel suo movimento uno sciame di questo invisibile detrito di Stelle, e grani di questo penetrano nella nostra atmosfera, essi si rendono visibili come *Stelle cadenti.* Ciò avviene perchè, essendo dotati di rapidissimo movimento rispetto alla Terra, specialmente se si movono in direzione opposta al movimento di questa, incontrano un tale attrito nell'aria, da riscaldarsi fortemente fino a diventare luminosi, anzi fino a liquefarsi e a spezzarsi in frammenti e in polvere, che costituisce la striscia luminosa. I frammenti più grossi (*bolidi*) possono cadere sulla Terra (*meteoriti*) e anche la polvere più minuta lentamente cade: così nella fanghiglia in fondo agli oceani e sulle immense estensioni dei ghiacci della Groenlandia si trova diffusa questa *polvere meteorica.* E' questo un primo esempio del ricambio di materia dallo spazio alla Terra; esso è però un fenomeno affatto trascurabile, e che non ha effetto sensibile nella vita del nostro globo. Si può dire che fra questo e lo spazio ambiente e i corpi che lo percorrono non vi è che ricambio di energia, perchè anche altre comunicazioni di materia, alle quali accenneremo in seguito, non hanno significato che per l'energia che esse sviluppano.

L' Etere cosmico. — Lo spazio vuoto di materia non si può dire assolutamente vuoto. Noi riceviamo dagli astri la luce, e tutti i fenomeni luminosi hanno tali caratteri, che non si possono spiegare se non come effetti di vibra-

zioni. Le vibrazioni delle particelle minutissime dei corpi luminosi (*elettroni*, che sono frazioni piccolissime delle più piccole particelle (*atomi*) che si scambiano fra corpo e corpo nelle reazioni chimiche), determinano analoghe vibrazioni nelle analoghe particelle dei corpi illuminati. Come si comunicano tali vibrazioni fra corpi distanti ? Noi dobbiamo ammettere che esse si trasmettono attraverso lo spazio che li separa, e che quindi in questo spazio vi deve essere un *quid*, una sostanza — che non possiamo chiamare materia, perchè non è percepibile per i nostri sensi — ma che è capace di vibrare. Questa sostanza di cui siamo costretti ad ammettere l'esistenza, fu chiamata *etere*. La luce si propaga nell'etere per onde, *analogamente* a come si propaga il suono nei corpi e il moto ondoso nel mare. Queste onde, colpendo il nostro occhio, provocano in noi la sensazione della luce ; ma il nostro occhio non è suscettibile di percepire che un gruppo limitato delle infinite onde che percorrono l'etere spaziale. Come, guardando il mare dall'alto di una montagna, noi percepiamo soltanto le onde di certe dimensioni, mentre ci sfuggono i minuti increspamenti e le lente ed ampissime oscillazioni della superficie, così noi non percepiamo, delle onde eteree, che quelle di determinate lunghezze e ci sfuggono le più brevi e le più lunghe.

Propagazione dell'energia. — Ma come tutte le ondulazioni del mare, così le più grandi che le più piccole, possono produrre degli effetti meccanici (p. es., sulle spiagge dove vanno a rompersi), possono cioè produrre del lavoro, hanno cioè una energia — *energia è possibilità di lavoro* —, così tutte le onde eteree hanno una propria energia, che potrà manifestarsi in effetti diversi, distinti o sovrapposti ; effetti chimici, luminosi, termici (sviluppo di calore), elettrici, magnetici, meccanici. Il nostro occhio non percepisce, come luce, che le onde aventi una lunghezza d'onda compresa fra 0,39 e 0,76 *micron* (millesimo di millimetro): le onde più brevi o più lunghe non sono per noi visibili, ma tuttavia possono produrre egualmente degli effetti ;

principalmente effetti chimici le più brevi, effetti termici le più lunghe fino a una certa lunghezza. Le esperienze hanno constatato l'effetto termico di onde della lunghezza di circa 60 micron, cioè ottanta volte più lunghe delle più lunghe onde visibili. Ma le recenti scoperte sulle onde elettriche, che furono fondamento alla telegrafia senza fili, dimostrarono che l'etere può essere percorso da onde molto più lunghe, da 3 millimetri di lunghezza in su, senza limite; e certo anche le onde intermedie (da 0,06 a 3 mm.) hanno forse altri effetti che la fisica non ha ancora rivelato. E' sempre lo stesso fenomeno ondoso o vibratorio dell'etere che, investendo i corpi, sviluppa in essi manifestazioni diverse, a seconda della lunghezza d'onda. Anche l'attrazione universale è probabilmente un flusso di forza che si propaga da corpo a corpo attraverso l'etere.

La Terra vive di quest'onda di energia, che da tutti i corpi celesti viene a investirla attraverso lo spazio, e che essa in parte ritorna allo spazio per irradiazione.

Energia emessa dal Sole. — Ma il flusso d'energia che la Terra riceve da tutti i corpi celesti, escluso il Sole, è trascurabile, per la loro distanza (stelle fisse) o per la loro piccolezza (pianeti), rispetto a quello che riceve dal Sole; *si può dire che la Terra vive a spese del Sole.*

Questi le somministra energia vibrante in tutte le sue forme ed è questa energia che mantiene la distribuzione della temperatura sulla superficie terrestre, i movimenti dell'aria e del mare, la formazione e le trasformazioni del vapore acqueo, che dà origine alle nebbie, alle nubi, alla pioggia, alla neve, alla grandine; le reazioni chimiche degli organismi vegetali e animali.

Raggi ionizzanti. — Secondo i concetti più moderni, le radiazioni solari possono dar ragione anche di altri fenomeni che possono avere una grande importanza nella fisiologia del nostro globo. Le onde radianti invisibili più brevi possono modificare col loro urto la costituzione atomica dei corpi, in particolare dell'aria, spezzando gli atomi

in parti oppostamente elettrizzate. L'aria acquista allora proprietà speciali, e in particolare nell'aria così *ionizzata* è più facile la condensazione del vapore in nebbia.

Pressione della luce. — Le vibrazioni luminose radianti dal Sole, urtando contro la polvere materiale che circonda la massa solare, esercita sui granuli di essa, in determinate condizioni, una pressione (pressione della luce) che, essendo superiore alla forza di attrazione del Sole su di esse, le spinge sempre più lontano, diffondendole nello spazio. Si ha quindi, non solo un flusso di energia che emana dal sole, ma anche un flusso di materia, per quanto tenuissima. Queste particelle, elettrizzate, entrando nella nostra atmosfera darebbero la spiegazione delle *aurore boreali*, e si unirebbero alle polveri meteoriche.

Raggi catodici. — Dobbiamo ammettere finalmente che il Sole projetti anche *elettroni*, in radiazioni analoghe a quelle che emanano nel vuoto da un polo elettrico negativo (catodo), cioè in *raggi catodici*.

Intensità della radiazione ricevuta dalla superficie terrestre sotto varia inclinazione. — Non è qui il luogo di dire che cos'è il Sole, com'è costituito, per quali ragioni e in qual modo sviluppa tutte le energie che esso diffonde nello spazio e che in piccola parte sono raccolte dal nostro globo : ci basti aver stabilito il fatto. Data la grande distanza del Sole dalla Terra, che è di circa 150 milioni di chilometri, e le sue grandi dimensioni rispetto ad essa, poichè il suo diametro è più di 108 volte il diametro terrestre, il fascio di raggi che colpiscono la Terra la investe come un fascio di raggi paralleli, colpendo tutta la metà della superficie sferica che è rivolta verso il Sole, e lasciando, diremo così, in ombra l'emisfero opposto (fig. 1). Abbiamo quindi in ogni istante un emisfero terrestre illuminato, riscaldato, esposto al bombardamento delle onde elettriche e delle particelle elettrizzate, mentre l'altro emisfero rimane in ombra.

Se la Terra fosse un disco piano esposto al Sole, le energie solari (luce, calore, ecc.) sarebbero distribuite su di esso in modo uniforme. Ma la Terra ha una superficie curva, è una palla molto approssimativamente sferica, e le varie parti dell'emisfero che in un dato istante è illuminato, ricevono le radiazioni solari sotto angolo diverso. Se noi esponiamo un foglio bianco alla luce di una lampada, vediamo che esso ci appare più illuminato quando la luce cade perpendicolarmente su di esso, e che, se si fa rotare il foglio in modo che i raggi siano sempre più inclinati su di esso, fino a diventare radenti, l'illuminazione decresce progressivamente fino ad annullarsi; per un'ulteriore inclinazione, il foglio rimane in ombra. Ora, della superficie emisferica esposta al Sole, soltanto il punto centrale riceve la radiazione solare perpendicolarmente; man mano che ci allontaniamo da questo, essa diventa sempre più obliqua sulla superficie, fino a diventare radente per tutti i punti del cerchio che forma il contorno dell'emisfero stesso: al di là entriamo nell'emisfero in ombra. L'illuminazione, il riscaldamento e tutti gli effetti delle radiazioni solari saranno quindi massimi per quel punto centrale dell'emisfero, che ha il Sole perpendicolarmente sovrastante, *allo zenit*, (che è il punto centrale della volta celeste visibile) e andranno via via degradando fino ad annullarsi. E' questa una prima ragione di disformità nella distribuzione della energia solare, dalla quale dipendono le funzioni fisiologiche della Terra.

Fig. 1. — Esposizione della Terra alle radiazioni solari.

Giorno e notte. — Ma i fenomeni si complicano per il fatto che la Terra ruota attorno a sè stessa. Non è quindi sempre lo stesso emisfero che sta rivolto al sole, ma è un emisfero continuamente mutevole; in ogni istante vi è un emisfero in luce e un emisfero in ombra; ma

dopo 12 ore è questo che si trova in luce e il primo in ombra. Così si alternano il giorno e la notte. Si vede facilmente che lo stesso effetto si avrebbe se la Terra si mantenesse ferma e fosse il Sole che rotasse attorno ad essa, e così effettivamente il fenomeno ci appare, perchè non ci accorgiamo di essere noi stessi trascinati dalla Terra nel suo moto di rotazione: noi vediamo sorgere il Sole al mattino, percorrere un arco del cielo raggiungendo la massima altezza sull'orizzonte a mezzogiorno, e tramontare alla sera.

Ma il numero d'ore in cui il Sole rimane sull'orizzonte, la *durata del giorno,* non è in generale eguale al numero di ore in cui rimane nascosto, alla *durata della notte;* e non è nemmeno costante. Qui siamo davanti a un'altra complicazione, che si spiega con due fatti: 1° che la Terra, oltre rotare sopra sè stessa, gira attorno al Sole, descrivendo una curva piana *(eclittica),* che è come un ovale, un cerchio leggermente schiacciato nella direzione di un suo asse *(ellisse)*; 2° che la rotazione terrestre avviene attorno a un diametro del globo, il quale non è perpendicolare al piano dell'eclittica, ma è inclinato sulla perpendicolare di un angolo che è poco più di un quarto di angolo retto.

Effetti della rotazione della terra intorno al Sole: durata del giorno e della notte a varie latitudini e nelle varie posizioni della terra sulla sua orbita. — Vediamo l'effetto di questa seconda condizione. Sia A A (fig. 2) la traccia del piano dell'orbita terrestre: le radiazioni solari arrivano parallele ad esso e determinano sul globo un emisfero illuminato e un emisfero in ombra, limitati dal cerchio $L L_1$ perpendicolare al piano A A. La Terra ruota intorno all'asse $N S_1$ che unisce i due poli, Nord e Sud, e un punto P della sua superficie

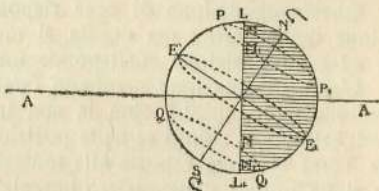



Fig. 2. — Durata dei giorni e delle notti nell'inverno boreale.

descrive quindi un cerchio, che è tanto più grande quanto più P è lontano dal polo N, è massimo se P è a metà distanza in E_1 fra N ed S *(Equatore)*, per tornare a diminuire quando si allontana ancor più verso S. Per il punto P, compreso fra N ed E_1 che si trova cioè nell'emisfero compreso fra l'equatore e il polo nord (emisfero boreale), noi vediamo che il punto P rimane in luce mentre percorre l'arco $M P M_1$, in ombra mentre percorre l'arco complementare $M_1 P_1 M$. Ma questo è evidentemente maggiore del primo, e quindi *la notte è più lunga del giorno*. Per un punto Q invece, che si trovi nell'altro emisfero, dall'equatore al polo sud *(emisfero australe)*, l'arco illuminato $N Q N_1$ è maggiore dell'arco oscuro $N_1 Q_1 N$ e quindi *il giorno è più lungo della notte*. Il punto L descrive un cerchio tutto in ombra, e così tutti i punti a nord di L; il punto L_1 descrive un cerchio tutto in luce e così tutti i punti a sud. Abbiamo cioè una calotta attorno al polo nord sulla quale il Sole non nasce, una calotta attorno al polo sud sulla quale il sole non tramonta.

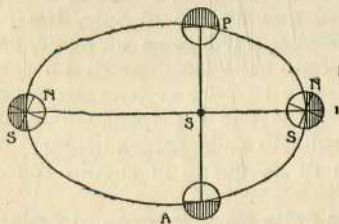



Fig. 3. — Esposizione della Terra al Sole nei Solstizi ed Equinozi.

Questa condizione di cose risponde a una data posizione della Terra; ma questa si muove attorno al Sole, e ad ogni posizione corrisponde una condizione diversa.

L'asse di rotazione mantiene infatti invariata la sua direzione nello spazio, cioè la sua inclinazione sul piano dell'eclittica, e quindi se nella posizione I sull'orbita (fig. 3) la Terra si trova esposta alla radiazione come nella fig. 2, e si ha quindi nell'emisfero boreale la notte più lunga del giorno, e nell'emisfero australe il giorno più lungo della notte, nella posizione S invece l'esposizione dei due emisferi è invertita, ed è invertita quindi anche la differenza fra giorno e notte. In due speciali posizioni intermedie P, A, nelle quali l'asse di rotazione si trova a giacere nel

piano di separazione fra l'emisfero illuminato e l'emisfero in ombra, è evidente che tutti i punti della Terra nella rotazione di questa rimangono per 12 ore in luce e per 12 ore in ombra, che il giorno è ovunque eguale alla notte. Perciò queste posizioni sono detti *Equinozi*, mentre le posizioni I, S sono detti *Solstizi*.

Nel Solstizio I la maggior parte dell'emisfero boreale rimane per maggior tempo in ombra, e anche la parte illuminata riceve le radiazioni solari sotto angolo obliquo in tutti i punti; l'opposto si verifica per l'emisfero australe. Il primo riceve quindi il minimo di energia solare, il secondo ne riceve il massimo. Spostandosi la Terra da I verso P, le differenze fra i due emisferi vanno attenuandosi, finchè in P si equilibrano: oltre P comincia ad accennarsi un vantaggio dell'emisfero boreale sull'australe nella distribuzione dell'energia solare, vantaggio che culmina nel Solstizio S. Nell'altra metà dell'orbita si verifica evidentemente la variazione inversa.

Le stagioni astronomiche. — Dividendo il periodo annuo in quattro parti di ciascuna delle quali siano giorni centrali rispettivamente i giorni di solstizio e di equinozio, definiamo le quattro *stagioni astronomiche:* inverno, primavera, estate, autunno, coll'osservazione che l'inverno e la primavera boreale corrispondono all'estate e all'autunno australe, e viceversa. Si dicono *stagioni astronomiche*, rispondenti alla variazione dell'energia solare ricevuta, per distinguerle dalle *stagioni metereologiche*, che rappresentano l'*effetto* di tale variazione, effetto che, come vedremo, si verifica sempre con sensibile ritardo.

Distribuzione dell'energia solare ricevuta dalla terra nelle vàrie stagioni. — Si comprende da ciò che precede quanto debba essere complessa la legge che regola la distribuzione della energia solare sulla superficie del globo nelle varie epoche dell'anno, e la variazione di tale energia in ogni punto della Terra. I calcoli assai complicati con cui si è tentato di determinare tal legge, porta-

rono a risultati che possono sembrare paradossali. Così, p. e., risulta che nel giorno del Solstizio di estate (22 Giugno per l'emisfero boreale) la quantità di calore solare ricevuta al polo è notevolmente maggiore di quella che è ricevuta in un punto dell'equatore. Pensandoci bene, possiamo comprendere la ragione di questo apparente paradosso, considerando che nella calotta polare all'epoca del Solstizio il Sole non tramonta mai, mentre all'equatore non rimane sull'orizzonte che 12 ore, cosicchè la maggior durata compensa la minore intensità della radiazione.

Questa e altre irregolarità nella distribuzione dell'energia solare sulla superficie del globo vengono, come accenneremo in seguito, attenuate e regolate dall'atmosfera. Anche prescindendo da ciò, se consideriamo la quantità complessiva di energia solare ricevuta dalla Terra in un anno, essa risulta massima all'equatore, e decrescente verso i poli. Durante l'anno poi tale somma è distribuita in modo che, chiamando 100 la somma stessa relativa a un emisfero boreale o australe, 63 parti di essa sono ricevute dall'emisfero stesso nel semestre estivo, e 37 nel semestre invernale.

Irradiazione notturna. — Non tutta l'energia solare che giunge alla Terra rimane fissata su questa e impiegata nelle funzioni chimiche, fisiche e meccaniche che definiscono la vita del nostro globo. Una parte viene riflessa, e ne è prova il fatto che noi vediamo i pianeti, per la luce solare che essi ci rimandano per riflessione: una parte viene irradiata, specialmente come *calore oscuro*. Questa espressione merita un po' di spiegazione.

Calore oscuro. — Un corpo *splende* per luce propria quando, essendo scaldato ad altissima temperatura, emette quelle onde abbastanza brevi (fra 0,39 e 0,76 micron) che sono percettibili dal nostro occhio. Man mano che si raffredda perde tale proprietà di emissione delle onde luminose e diventa invisibile, ma continua ad emettere le onde più lunghe, oscure, che ricevute da un corpo lo riscaldano,

e che si dicono perciò *onde termiche*. Ogni corpo, a qualunque temperatura, purchè non sia (ciò che praticamente è impossibile) allo *zero assoluto*, che è la più bassa temperatura teoricamente raggiungibile (273 gradi sotto 0^0 del termometro centigrado), emette delle radiazioni oscure, cioè del *calore oscuro*.

Equilibrio dell'energia ricevuta e dell'energia irradiata. — Ora ogni corpo che si trova sulla Terra, acqua, aria o terra, ogni porzione della superficie terrestre, riceve durante il giorno l'energia solare, e la trasforma in calore, ma nello stesso tempo emette calore per irradiazione. Il corpo si riscalda finchè la quantità di calore ricevuta dal Sole è maggiore di quella irradiata, e, poichè la radiazione solare cresce dal sorgere del Sole fino a mezzogiorno per diminuire verso il tramonto, potrà avvenire che il corpo incominci a raffreddarsi prima che sia tramontato il Sole. Appena il Sole è tramontato, cessa improvvisamente l'afflusso di calore e rimane soltanto l'effetto dell'irradiazione. Il corpo quindi si raffredda più rapidamente e continua a raffreddarsi durante tutta la notte fino al nuovo sorgere del Sole. Il suolo e l'atmosfera si raffreddano cioè durante la notte, perchè irradiano calore oscuro verso lo spazio. Durante l' inverno, nelle latitudini elevate, quando la notte è molto più lunga del giorno, è maggiore di regola il raffreddamento notturno del riscaldamento diurno e quindi da giorno a giorno la temperatura diminuisce; durante l'estate, per le condizioni opposte, si ha l'effetto opposto.

Così, molto sommariamente, abbiamo riassunte le condizioni dell'ambiente esteriore della Terra. Questa riceve dell'energia e, per quanto in proporzioni tenuissime, della materia, dallo spazio e dai corpi che lo percorrono, specialmente dal Sole. Di questa energia ne restituisce una parte allo spazio, e il residuo viene trasformato in tutti i lavori che si svolgono nell'atmosfera, nel mare, sul suolo.

SECONDA LEZIONE

L'atmosfera.

L'aria. — La terra è circondata da un involucro aeriforme, costituito da una miscela di gas, fra i quali predominano l'azoto e l'ossigeno. Dato un volume di 100 centimetri cubi d'aria, circa 78 sono di azoto e 21 di ossigeno: il centesimo residuo è costituito in gran parte (0,94) di argon, un gas scoperto di recente, in parte molto minore (0,03) di acido carbonico, e in parte tenuissima di idrogeno, elio e altri gas pure scoperti di recente (cripton, neon, xenon). Poichè l'ossigeno pesa di più dell'azoto, e l'argon e l'acido carbonico più di ambedue, e l'idrogeno di gran lunga meno di tutti, le proporzioni in peso sono sensibilmente diverse di quelle in volume, cosicchè su 100 grammi d'aria circa 75,48 sono d'azoto, 23,2 sono di ossigeno e 1,29 di argon.

E' notevole che queste proporzioni in volume e in peso si verificarono quasi costanti in tutti i campioni d'aria raccolti e in pianura e in alta montagna, nell'interno dei continenti e in alto mare. Solo in condizioni speciali, p. es., nei centri molto abitati, in ambienti chiusi, in grotte e miniere, la composizione dell'aria può trovarsi alquanto alterata, specialmente per eccesso di acido carbonico e per la presenza di altri gas (ammoniacali, solforosi, ecc.).

Tuttavia si hanno forti argomenti per ritenere che negli strati più alti si accenni una separazione progressiva dei vari componenti dell'aria, tendendo i più pesanti, appunto perchè più pesanti, a mantenersi più vicini a terra. Quindi l'acido carbonico diminuirà in proporzione più rapidamente dell'argon, e, ciò che più importa, l'ossigeno più rapida-

mente dell'azoto, cosicchè oltre qualche decina di chilometri l'aria sarebbe composta in grande predominio di azoto; ma anche questo cederebbe a maggiore altezza tale predominio all'elio e all'idrogeno, e oltre i 70 chilometri d'altezza l'aria, in condizione di estrema tenuità, sarebbe costituita quasi esclusivamente da idrogeno ed elio; forse più su da un gas ancor più leggero (il geocoronio). La atmosfera non ha limite, ma va diluendosi indefinitamente nello spazio.

La costanza della costituzione proporzionale dell'aria negli strati inferiori non può spiegarsi che come effetto del continuo rimescolamento che questi strati subiscono per effetto dei venti, dei vortici e delle correnti ascendenti e discendenti, come vedremo.

Il vapore acqueo. Evaporazione. — Finora abbiamo parlato degli elementi costitutivi che entrano nell'aria degli strati più vicini a terra, in proporzioni presso a poco costanti. Ma nell'atmosfera si trova sempre, benchè in proporzioni variabilissime, del vapore d'acqua. Basta esporre all'aria un corpo molto freddo, p. es., una bottiglia d'acqua freschissima, per veder ricoprirsi la sua superficie di un velo di nebbia, che la appanna, se la superficie è lucida. Perchè avviene ciò?

Se noi poniamo dell'acqua in un recipiente chiuso, riempito solo in parte, nella parte vuota si raccoglie del vapore. Sono particelle, o *molecole*, d'acqua che, essendo dotate — come lo sono le molecole di tutti i corpi — di movimenti in tutte le direzioni, si staccano dalla superficie, proiettandosi nello spazio sovrastante. E' l'acqua che evapora.

Condensazione. — Il numero di queste molecole che si staccano e riempiono lo spazio sovrastante va crescendo, ma fino a un certo limite. Infatti una parte di esse, urtando contro la superficie dell'acqua, vi è arrestata, cioè una parte del vapore si ricondensa in acqua, e questa parte è tanto maggiore quanto maggiore è il numero di mole-

cole, cioè la massa di vapore già formato. Continuando questo processo di evaporazione e di parziale condensazione, si giunge a un punto in cui la quantità di vapore che si condensa è eguale alla quantità di vapore nuovo che si forma, cioè praticamente l'evaporazione cessa, e la massa di vapore nello spazio vuoto e quella dell'acqua che rimane, restano invariate. Questo, supponendo che non cambi la temperatura. Chè, se noi riscaldiamo l'acqua e aumentiamo quindi la velocità di movimento delle sue molecole, potrà formarsi altro vapore nello spazio sovrastante; se la raffreddiamo, una parte del vapore si condenserà in acqua.

Saturazione. — Ne deriva che in un dato volume, a una data temperatura, non può formarsi e mantenersi più di una certa massa di vapore: e questa massa è tanto maggiore quanto maggiore è la temperatura. Un volume d'aria che contenga la massima quantità di vapore corrispondente alla sua temperatura dicesi *saturo*. Se una massa d'aria *satura* si raffredda, una parte del vapore in essa contenuto deve, se può, condensarsi in acqua. Così la bottiglia d'acqua fresca si ricopre di un velo d'acqua, perchè l'aria che la circonda, e che contiene del vapore invisibile, si raffredda a contatto con essa, e il vapore, che non era sufficiente a saturarla alla temperatura di prima, è più che sufficiente a saturarla alla nuova temperatura più bassa, e quindi in parte si condensa in goccioline d'acqua, che si depositano sul vetro.

Circolazione dell'acqua. — Questa proprietà del vapore d'acqua di non potere, salvo condizioni eccezionali, superare il *punto di saturazione*, e di condensarsi quando l'abbiano raggiunto, appena si verifica il più piccolo raffreddamento, rappresenta una delle condizioni fondamentali della fisiologia del nostro globo, perchè da essa è regolata la circolazione dell'acqua, che evaporando dalla superficie dei mari e del suolo, si condensa in altre regioni, a varie altezze nell'atmosfera, determinando la formazione di nebbie, di nubi, di pioggie e di neve, e quindi la for-

mazione dei corsi e bacini d'acqua, e dei ghiacciai, e in generale la distribuzione, su tutta la superficie della terra, dell'acqua che è uno degli elementi fondamentali della vita.

Il vapore acqueo è un agente distributore del calore. — Infatti l'evaporazione rappresenta un lavoro: il lavoro necessario per distaccare le molecole della massa d'acqua contro la forza di attrazione della massa stessa; e per il principio generale che non si può compiere nessun lavoro senza spesa, cioè senza consumare dell'energia, questo lavoro di evaporazione consumerà dell'energia, che o si dovrà somministrare alla massa d'acqua riscaldandola, o sarà sottratta alla massa stessa, che perciò si raffredda. Quando le particelle di vapore si riuniscono in goccioline d'acqua, si verifica il processo inverso, cioè non è più lavoro che si consuma, ma lavoro che si produce, per l'incontro di molecole che si riuniscono, conforme alla loro reciproca attrazione: questo lavoro si trasforma in calore, e si sviluppa precisamente quella stessa quantità di calore che era stata assorbita per la formazione di quella stessa quantità di vapore che ora si condensa. E' quindi una determinata forma di calore che viene assorbita in un dato punto della superficie, e che viene restituita in un punto spesso molto remoto dell'atmosfera, e generalmente degli alti strati dell'atmosfera, dove si formano le nubi.

Il pulviscolo atmosferico, la nebbia, le nubi, la pioggia, la neve. — Ho detto testè che il vapor d'acqua si condensa, *se può*, appena è raggiunto il punto di saturazione. E' dimostrato infatti che un'altra condizione deve verificarsi perchè la condensazione abbia luogo e, appena compiuta, si mantenga. Dev'esserci una superficie solida o liquida o un nucleo elettrico, o in generale una sostanza, anche gassosa, che esercitando una speciale attrazione sulle molecole riunite in goccioline minutissime all'inizio della condensazione, impediscano alle goccioline stesse di rievaporare immediatamente, come certamente avverrebbe, per una ragione che qui non mi è permesso di sviluppare.

L'aria in condizioni normali, negli strati inferiori fino a parecchi chilometri d'altezza, mantiene in sospensione una miriade di granuli solidi (polvere, fumo, germi, spore, cristallini di sale, ecc.) di dimensioni variabilissime, in generale microscopiche ed ultra-microscopiche: il *pulviscolo atmosferico*. I granuli piu grossi si vedono ad occhio nudo volteggiare nell'aria lungo il cammino di un raggio luminoso. Questi granuli possono diventare facilmente *nuclei di condensazione* del vapor d'acqua; specialmente quelli di *sostanze igroscopiche*, che hanno cioè una forte affinità coll'acqua. Anche alcuni gas e vapori, che si trovano sovente nell'aria (anidride solforica e nitrica, gas ammoniaco) sono fortemente igroscopici, e possono quindi fissare e condensare le goccioline più minute.

Nell'aria normale si può dire quindi che il vapor d'acqua, appena raggiunge il punto di saturazione, deve condensarsi, perchè trova innumerevoli nuclei di condensazione. Ognuno di questi diventa centro di una gocciolina d'acqua, e l'assieme di queste innumerevoli goccioline piccolissime costituisce la *nebbia*, la quale, se si forma in alto nell'atmosfera, chiamasi *nube*. Queste goccioline sono così minute che basta il più piccolo movimento dell'aria per tenerle in sospensione e anche in aria calma impiegherebbero un lungo periodo di tempo per cadere fino a terra. Però, continuando su di esse la condensazione del vapore, possono ingrossare e crescere di peso in modo da non poter più rimanere sospese; esse, quindi, cadono e si ha la *pioggia*. Che se la condensazione si verifica a temperatura molto bassa, inferiore a quella alla quale gela l'acqua (0^0 del termometro centigrado) si formeranno delle nubi speciali, costituite non da gocce d'acqua, ma da aghi di ghiaccio, e invece della pioggia, si avrà la *neve*, costituita da raggruppamenti di cristallini di ghiaccio.

Acquazzoni, grandine, rugiada, brina. — Le goccie di nebbia o di pioggia o le falde di neve, che cadono più o meno rapidamente, trascinano con sè, dallo strato dove si sono formate, i nuclei di condensazione, e lo strato stesso ne

rimane quindi privo. Il vapore che vi resta non può quindi condensarsi, anche se è saturo e se la temperatura si abbassa: si mantiene vapore invisibile anche in quantità molto superiore a quella che in condizioni normali sarebbe sufficiente alla saturazione. L'aria allora dicesi *soprasatura*. Evidentemente se, per correnti d'aria che trasportino nuovo pulviscolo, o per la formazione di gas igroscopici (le violente scariche elettriche possono produrre coll'azoto dell'aria dei vapori nitrosi) o per la ionizzazione dell'aria prodotta dalle radiazioni solari d'onda più breve e da altre cause, si formano altri nuclei di condensazione, il vapore allo stato di soprasaturazione improvvisamente si condensa e si hanno allora acquazzoni molto più violenti, perchè si ha un eccesso di vapore, e in condizioni opportune la formazione di grossi chicchi di *grandine*.

Così vediamo che le trasformazioni del vapor acqueo danno ragione della maggior parte dei fenomeni più evidenti che definiscono il *tempo*, nel significato meteorologico della parola: *stato del cielo* (nebbia e nubi) e *precipitazioni* (pioggia, neve, grandine). Esse danno ragione anche della formazione della *rugiada* e della *brina*, che sono pure di grande importanza nella economia fisiologica della superficie terrestre, come fattori eminentemente favorevoli il primo, e nocivo il secondo, alla vegetazione. La rugiada non è che la condensazione del vapore atmosferico, e di quello che emana per evaporazione del suolo, sul suolo stesso e sul suo rivestimento vegetale, che fortemente si raffredda per irradiazione durante le lunghe notti invernali: è come l'appannarsi della boccia d'acqua fresca. Che se il raffreddamento è molto forte, fino al disotto della temperatura di congelamento dell'acqua, il vapore si condensa in ghiaccio e si ha la *brina*.

Diffusione dell'energia solare nell'atmosfera. — L'atmosfera, costituita da molecole di gas e vapori, da granuli di pulviscolo atmosferico, da goccioline d'acqua di diametro variabilissimo (da pochi millesimi di millimetro a parecchi millimetri) diffuse nell'aria o raggrup-

pate in nubi, da aghetti di ghiaccio, modifica notevolmente la natura e la distribuzione delle onde eteree radianti dal Sole, che debbono attraversarla per giungere alla terra. Per farci un'idea dell'azione che i suoi vari elementi possono esercitare sul sistema d'onde eterogenee che costituiscono la radiazione solare, possiamo valerci della bella imagine di Wegener. Un grande transatlantico corre in mare agitato senza risentire sensibilmente l'effetto del moto ondoso. Le onde che vanno a battere contro la prua rimbalzano, e a poppa si ha acqua calma. Invece una flottiglia di piccoli battelli è in completa balia del mare e sono costretti a ballare coll'onda, che segue il suo corso come se la flottiglia non esistesse. Ma gli stessi battelli in mare leggermente increspato romperebbero le piccole onde riflettendole in tutte le direzioni.

Le particelle, di tutte le gradazioni di grandezza, dalla piccolezza inconcepibile delle molecole alle gocce d'acqua di quasi mezzo centimetro di diametro si comportano di fronte alle onde solari come una gradazione di imbarcazioni, dal più piccolo scafo al grande transatlantico di fronte alle onde del mare. Gli elementi più piccoli rompono, riflettono e diffondono in tutte le direzioni le onde più piccole, lasciando passare le mediocri e le più grandi, mentre queste sono rotte e diffuse dagli elementi maggiori. Ne deriva che le onde più brevi sono le più generalmente diffuse, mentre la diffusione delle onde più lunghe è prodotta soltanto dagli elementi più grossolani.

I colori del cielo. — Abbiamo visto come le radiazioni *luminose* del sole rappresentino un gruppo di onde compreso fra 0,4 e 0,76 micron. Le onde più brevi danno una impressione di luce fra il violetto oscuro e l'azzurro intenso, le più lunghe fra l'aranciato e il rosso opaco essendo le intermedie rispondenti al verde e al giallo.

Le onde più brevi sono diffuse da tutti gli elementi costitutivi dell'aria, probabilmente anche dalle molecole, e questa luce diffusa illumina tutti gli elementi stessi: perciò *il cielo ci appare di colore azzurro*. Quando però

la luce solare attraversa uno strato d'aria ricco di goccioline e di pulviscolo atmosferico, che sono gli elementi più grossolani, anche le onde luminose più lunghe, le rosse, vengono diffuse, e con ciò *si spiega il color rosso dei crepuscoli, mattutino e serale.* Alla mattina e alla sera infatti la radiazione solare attraversa l'atmosfera più obliquamente che a mezzogiorno, e quindi per uno spessore più grande, tanto più che nell'aria, per effetto della *rifrazione*, non può più continuare in propagazione rettilinea, ma seguire una strada curva. E' maggiore quindi il numero di elementi grossolani che incontra, non solo per il cammino più lungo, ma anche perchè corre per più lungo tratto negli strati inferiori dell'atmosfera, dove l'intorbidamento dell'aria per la polvere e le goccioline d'acqua è maggiore.

Luce e calore diffusi. — Ciò che si verifica delle onde visibili deve verificarsi anche delle invisibili, tanto delle più brevi il cui effetto è prevalentemente chimico, quanto delle più lunghe il cui effetto è prevalentemente calorifico. Come abbiamo cioè una *luce diffusa,* che permette di vedere anche all'ombra, cioè in luoghi non direttamente illuminati dalla radiazione solare, così avremo anche un'*azione chimica diffusa* e del *calore diffuso.*

Assorbimento dell'energia solare nell'atmosfera. — La frazione dell'energia solare che viene diffusa nell'atmosfera arriva in parte, benchè distribuita più uniformemente, alla superficie terrestre; un'altra parte viene riflessa verso lo spazio, e va perduta per la terra. Un'altra frazione viene arrestata, fermata, *assorbita* dagli elementi costitutivi dell'aria, e trasformata in lavori diversi, o in calore. I gas sono molto trasparenti per le onde, specialmente luminose, e si riscaldano pochissimo sotto l'azione diretta delle radiazioni solari, la cui massima energia è rappresentata appunto dal fascio d'onde che sono visibili. Solo l'acido carbonico ha un assorbimento sensibile, specialmente su alcuni gruppi di onde oscure lunghe (del-

l'*ultrarosso*, cioè di onde più lunghe delle più lunghe onde visibili, che sono le onde rosse). Tutti i gas risentono invece l'azione delle onde oscure più brevi (dell'*ultravioletto*, più brevi cioè delle onde violette, che sono le più brevi visibili) in quanto, come già si è detto, queste hanno la proprietà di spezzare gli atomi staccandone gli elettroni e determinando con ciò la *jonizzazione* dell'aria. Lo *stato elettrico* dell'atmosfera è dovuto, almeno in parte, a questa azione delle radiazioni solari ultraviolette, e probabilmente di onde ancor piu brevi (i raggi X o di Röngten) e dei raggi catodici (fasci di elettroni) che emanano dal sole: le grandiose manifestazioni, anche meccaniche, dell'elettricità atmosferica *(fulmine, lampo, tuono)* dimostrano quanta somma di energia si accumula in tal modo nell'atmosfera.

Il potere assorbente dei vapori atmosferici. — I vapori hanno un *potere assorbente* molto maggiore di quello dei gas, specialmente su alcune zone dell'ultrarosso, cioè su alcuni fasci di onde oscure più lunghe. Il vapore acqueo, che è il predominante, ha quindi una funzione assai importante nell'economia dell'energia termica, come vedremo meglio in seguito. Le misure dell'intensità della radiazione solare, continuate per 11 anni da Bartoli sull'Etna, hanno dimostrato come essa diminuisse sensibilmente col crescere dell'umidità, e come un semplice imbiancamento del cielo sereno, dovuto a un velo sottilissimo di goccioline d'acqua o aghetti di ghiaccio, bastasse a ridurla notevolmente. Queste goccioline d'acqua diffondono e assorbono una grande quantità di calore perchè riflettono la luce e perchè battute dal sole, evaporano più rapidamente, e noi sappiamo che l'evaporazione esige un grande consumo di energia. Si comprende quindi come uno strato di nube densa si comporti come un corpo quasi assolutamente opaco, che arresta cioè quasi interamente l'energia solare, che in parte è riflessa verso l'alto: viste dall'alto le nubi hanno un candore abbacinante.

La radiazione solare non arriva tutta alla Terra. — Finalmente anche il pulviscolo atmosferico in parte riflette e in parte assorbe, riscaldandosi, la radiazione solare, per la quale ogni grano di esso è generalmente opaco. Furono fatte delle misure, in base a concetti teorici necessariamente assai incerti, della frazione di radiazione solare che non arriva alla superficie terrestre perchè arrestata, per riflessione, diffusione ed assorbimento, dall'atmosfera. Con cielo perfettamente sereno e con sole allo zenit si calcola che solo da 6 a 8 decimi del calore solare arriva alla terra, e naturalmente la frazione diminuisce quanto più il sole è basso, perchè cresce lo spessore d'aria attraversato. Si comprende perciò che la radiazione solare diretta che *nella media annua* già diminuirebbe, per unità di superficie ricevente, dall'equatore ai poli (pag. 10) se non esistesse l'atmosfera, deve diminuire più rapidamente per effetto di questa, perchè il sole nelle alte latitudini non si eleva mai molto alto sull'orizzonte, mentre fra i tropici raggiunge lo zenit.

Le anomalie paradossali che riscontrammo nella distribuzione estiva della radiazione solare (pag. 11) sono poi completamente cancellate da questa funzione dell'atmosfera. Questa tuttavia esercita d'altra parte un'azione eguagliatrice nella distribuzione dell'energia solare per effetto della diffusione, e poichè si è visto che le radiazioni più brevi ultraviolette, aventi effetto prevalentemente chimico e jonizzatore, sono le più soggette alla diffusione, nelle latitudini più alte avremo una radiazione chimica diffusa particolarmente intensa: e infatti le ricerche di Bunsen e Roscoe avrebbero dimostrato che a latitudini superiori a 50° essa, a cielo sereno, è maggiore della radiazione chimica diretta, mentre nei tropici questa è più che tripla di quella. A cielo leggermente coperto e con forte umidità l'energia diffusa, chimica, luminosa e termica è molto maggiore dell'energia diretta. Uno strato denso di nubi le diminuisce sensibilmente ambedue, perchè esso assorbe tutta o quasi tutta l'energia.

Assorbimento delle radiazioni terrestri. — Come si è veduto a pag. 12 la superficie terrestre irradia del *calore oscuro*, cioè onde lunghe, che sono facilmente assorbite dai vapori, specialmente dal vapor d'acqua, dalle goccioline in sospensione, dal pulviscolo atmosferico e anche dall'acido carbonico. Tutto o quasi tutto il calore irradiato rimane quindi nell'atmosfera. E' questa la funzione più importante dell'atmosfera nella economia fisiologica del nostro globo: ad essa principalmente è dovuta la possibilità di una vita organica, vegetale ed animale. Se la terra non avesse atmosfera, la sua superficie si riscalderebbe intensamente durante il giorno, sia perchè la energia solare arriverebbe non attenuata, sia perchè non essendovi acqua che evaporando ne assorba una gran parte, nè vegetazione, che la trasformi in energia chimica, tutta la parte di essa che non verrebbe riflessa sarebbe impiegata nel riscaldamento. La superficie lunare illuminata e riscaldata dal sole ci rimanda una radiazione che è indizio di una temperatura superiore a 100° C.; e ciò appunto perchè la luna non ha atmosfera sensibile. Durante la notte poi la terra priva di atmosfera irradierebbe liberamente verso lo spazio vuoto, e si raffredderebbe specialmente nelle lunghe notti perenni degli inverni polari forse fin quasi allo zero assoluto (273° sotto lo zero centigrado).

L'atmosfera arresta l'irradiazione terrestre. — L'atmosfera arresta una frazione non molto rilevante della radiazione solare, ma una frazione rilevantissima, se non la totalità, dell'irradiazione terrestre, che, riscaldandosi, rinvia in buona parte per irradiazione alla terra. Essa esercita quindi come una funzione d'immagazzinamento dell'energia solare, analoga a quella che esercitano i vetri di una serra, i quali lasciano passare i raggi del sole, ma sono impermeabili per i raggi oscuri che emanano dall'interno.

Questa funzione è eminentemente variabile collo stato dell'atmosfera. Se questa è perfettamente serena e pura, povera di vapor d'acqua e di pulviscolo atmosferico, è

molto trasparente tanto per la radiazione solare che per la irradiazione terrestre, e la superficie del suolo subirà quindi una più intensa variazione diurna di temperatura. E' noto che nelle notti serene il raffreddamento del suolo e dell'aria ad esso contigua è assai più forte; e che, se l'aria stessa durante l'intenso calore diurno si arricchisce di vapore, è abbondante il deposito di *rugiada* o di *brina*. Basta che il cielo sia leggermente caliginoso, e tanto più se è coperto in tutta la sua estensione visibile da nubi, perchè il raffreddamento notturno sia molto minore, essendo arrestata la irradiazione.

TERZA LEZIONE

Terra e Acqua.

Continenti e Oceani. — Della superficie terrestre, che è di 510 milioni di chilometri quadrati, circa $^7/_{10}$ (361 milioni di kmq.) sono occupati dall'acqua e $^3/_{10}$ (169 milioni) da terra emersa. Non vi è alcuna legge evidente di distribuzione e di forma delle aree occupate dal mare e da quelle occupate dalla terra: possiamo dire però che, salvo piccoli mari, che si possono piuttosto considerare come laghi, chiusi da terra, (come il Mar Caspio), i mari formano una massa unica, continua, in modo che si può passare sempre per acqua da un punto qualunque a un altro punto qualunque dell'oceano; mentre le terre occupano aree discontinue, insulari, circondate dall'acqua. Quasi la totalità di esse è raccolta in cinque grandi isole o *Continenti.* La massima comprende l' Europa e l'Asia distese come una grande fascia fra 75° e 10° di latitudine boreale e 10° Long. Ovest e 15° Long. Est, e spingente verso sud quattro penisole: l'Africa, l'Arabia, l' India e l' Indocina, la prima delle quali ha le dimensioni di un grande continente. Segue in ordine di grandezza il Continente delle due Americhe allungantesi per 125 gradi di latitudine. La calotta polare australe è occupata da un grande continente, l'Antartide, quasi interamente coperto da ghiacci. L'Australia si può considerare come un' appendice dell'Asia, alla quale è collegata da una catena di grandi isole, e la Groenlandia come la maggiore delle isole che coronano l'orlo settentrionale dell'America.

E' notevole poi il fatto che quasi tutte le isole sono raggruppate attorno ai continenti, di cui costituiscono come

una frangia, e ne sono infatti l'orlo parzialmente sommerso. Tutte le isole di alto mare, che pur si contano a migliaia, non rappresentano che 1 : 55000 circa della superficie terrestre.

Ed è ancor più notevole quest'altro fatto, che ha una particolare importanza nella vita della terra; che le terre emerse sono raggruppate principalmente nell'emisfero boreale, poichè se si prescinde dal continente antartico, iso-

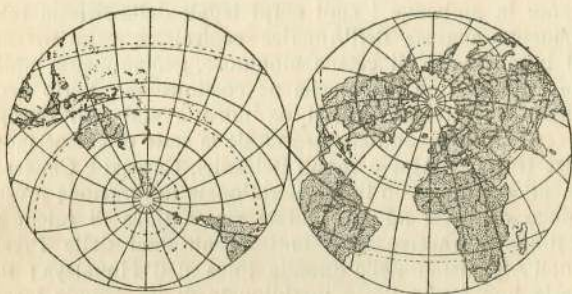



Fig. 4. — Le terre quasi tutte raccolte in un emisfero.

lato e sconosciuto, nell'australe non si spingono che le propaggini delle masse continentali.

La sperequazione nella distribuzione delle terre si vede ancor più evidente se si divide la Terra in due emisferi, l'uno dei quali abbia per polo un punto del centro della Francia e l'altro il punto antipodo di questo. Il primo emisfero comprende i $^{9}/_{10}$ delle terre emerse, e il secondo soltanto $^{1}/_{10}$ (fig. 4), cioè è quasi tutto oceanico.

Linee fondamentali del rilievo continentale. — Mentre la parte di superficie terrestre occupata dal mare, prescindendo dalle piccole oscillazioni dei moti ondosi e di marea, ha forma assolutamente regolare, liscia, come la superficie di una palla di vetro, la parte occupata dalle terre emerse ha una forma assai irregolare, per l'alternarsi

di monti, di valli, di conche, di bassopiani e di altopiani. Chi guardi però un planisfero, o meglio un mappamondo, vede che in questa irregolarità si affermano alcune linee direttive, che imprimono un carattere specifico ai vari continenti.

Sistemi di monti. — I rilievi montuosi non sono distribuiti in modo indeterminato, ma formano sistemi, fasci allineati in determinate direzioni. Così il continente americano, in ambedue i suoi corpi legati dalla striscia relativamente angusta dell'America centrale, è caratterizzato dal lungo fascio di catene montuose, generalmente molto alte (Rocciose ed Ande) che ne costituiscono l'orlo occidentale, in direzione quasi da nord a sud. All' Europa invece imprime carattere strutturale la serie di catene montuose (Pirenei, Alpi e monti Balcanici, Carpazi e Caucaso) che ne costituiscono l'orlo meridionale in direzione presso a poco da ovest ad est. Questa stessa linea di catene si prolunga attraverso ai monti ed altipiani della Persia e dell'Afganistan nella grande linea dell' Himalaya; ma questa non è che l'orlo meridionale di un grande fascio di catene che, dal nodo del Pamir, si apre a ventaglio su gran parte del continente asiatico.

Tutta la regione a sud di questo grande orlo montuoso, che dalla Spagna si spinge fino all' Indocina, presenta caratteri strutturali fondamentalmente diversi. L'Africa, l'Arabia, la Persia, la penisola Indiana, e possiamo aggiungere anche l' Australia che già dicemmo un' appendice dell'Asia, non hanno, come le Americhe e l'Eurasia, una specie di colonna vertebrale di monti che ne determinino la direzione fondamentale. Il carattere fondamentale del loro rilievo è un orlo montuoso, più o meno continuo, lungo le coste, che racchiude un sistema di altipiani e bassopiani interni. Non abbiamo cioè una zona ben definita di displuvio, che determini il deflusso delle acque in una direzione prevalente : da ovest a est nei continenti americani, da sud a nord nel continente eurasiatico ; ma un raggruppamento di bacini più o meno chiusi, dai quali le acque

non possono uscire, o sono costrette a cercarsi con via molto tortuosa lo sfogo al mare. Questa struttura a bacini chiusi si ripete tuttavia anche a nord della catena dell' Himalaya, entro i rami del grande ventaglio di catene, il quale è chiuso ad oriente, in senso parallelo alle coste del Pacifico, da un altro baluardo di catene trasversali, in direzione da nord a sud.

Poco o nulla si sa della struttura dei continenti antartico e groenlandese, che debbono considerarsi come due grandi altipiani di ghiaccio.

Rilievi minori appaiono indipendenti dalle linee fondamentali segnalate, ma, pur avendo anch'essi un significato nella distribuzione degli elementi fisici sulle regioni circostanti, non modificano i caratteri fondamentali impressi da quelle linee ai continenti.

Così mentre tutta l' immensa regione del continente euro-asiatico a nord dei rilievi montuosi è prevalentemente pianeggiante (Germania, Russia, Siberia), e liberamente aperta all' influenza di tempo e di clima (venti, pioggie, ecc.) che si propaga da ovest verso est, invece tutta la regione ad est delle Ande e delle Rocciose, nei continenti americani, è prevalentemente aperta alle influenze da nord e da sud. E mentre l' Oceano Pacifico è costeggiato lungo quasi tutto il suo contorno da catene litoranee, che lo isolano in certo modo dalle terre circostanti, invece l'Oceano Atlantico ha libera comunicazione di influenze reciproche coll' interno dei continenti.

Riscaldamento delle terre e dei mari. — L'energia solare venendo a colpire la superficie terrestre, la riscalda, ma la riscalda assai diversamente se il punto colpito è in terra o in mare. Consideriamo un'area di terra emersa costituita in superficie da roccia compatta, nuda, asciutta. La roccia è opaca, cioè le radiazioni solari non penetrano in essa, ma concentrano la loro azione riscaldante sulle particelle superficiali : è una grande somma di calore che viene assorbita da uno strato assai esiguo, e che quindi determina un forte riscaldamento. Una frazione del calore

così assorbito in superficie si propaga per *conduttività* alla roccia sottostante, ma la conduttività delle rocce è assai piccola, cioè è assai lenta questa perdita di calore dello strato superficiale, e non può diminuire che di poco il suo riscaldamento.

La stessa quantità di energia solare che colpisce un'area eguale di superficie acquea subisce invece un complesso di trasformazioni che diminuiscono la sua efficacia riscaldante.

In primo luogo, essendo la superficie dell'acqua liscia e speculare, è maggiore la quantità di calore che viene riflessa, e che va quindi perduta.

In secondo luogo una frazione rilevante dell'energia stessa viene assorbita nel lavoro di evaporazione. Se l'acqua contiene sciolti dei sali, com'è dell'acqua di mare, per effetto della evaporazione lo strato superficiale diventa più salso, perchè evapora soltanto l'acqua pura, il solvente; cresce quindi la sua salsedine, e la sua densità, e questo aumento può essere tale che lo strato superficiale diventi più denso e quindi più pesante dello strato sottostante. Allora la massa superficiale deve sprofondarsi ed essere sostituita dalla massa sottostante più fredda, e più dolce, che a sua volta evaporando dovrà sprofondarsi ed essere sostituita da altra più profonda. Così il riscaldamento non si limita a un sottile strato superficiale immutabile, ma si propaga per questo continuo ricambio a uno strato che può essere di parecchi metri.

Ma anche indipendentemente da questa circostanza, il riscaldamento si estende a uno strato dello spessore di parecchi metri, perchè l'acqua è trasparente, come lo prova il fatto che non vi è oscurità assoluta anche alla profondità di qualche decina di metri.

Finalmente si deve notare che l'acqua è la sostanza che si riscalda meno di tutte, quando una stessa quantità di calore è comunicata a masse eguali. Per riscaldare di un grado un grammo di roccia si richiede meno della terza parte del calore che è necessario per riscaldare di un grado un grammo d'acqua.

Per tutto questo complesso di circostanze una superficie d'acqua si riscalda molto meno, per eguale intensità di radiazione, di una superficie di roccia asciutta.

Se la superficie è di terreno non compatto, per es. di sabbia o di terra vegetale e più o meno imbevuto di umidità, una parte di calore andrà assorbita dalla evaporazione, e il riscaldamento sarà quindi minore, ma i grani solidi superficiali, che rapidamente disseccano, assumeranno sempre una temperatura elevata. Anche in terreno molto umido, acquitrinoso, essendo la radiazione assorbita sempre in uno strato di spessore molto esiguo, il riscaldamento sarà sempre maggiore che in una massa d'acqua profonda. Solo nel caso che la superficie del terreno sia coperta da vegetazione arborea fitta e continua, in clima abbastanza umido, il riscaldamento diurno del suolo, sempre in ombra, potrà essere anche minore di quello dell'acqua, e anche alla superficie superiore del bosco potrà essere la radiazione solare in grande parte assorbita dal lavoro chimico e di evaporazione. In terreno erboso questo lavoro è assai minore : di più, si riscalda l'aria racchiusa e stagnante fra gli steli d'erba.

Possiamo a ogni modo affermare che il riscaldamento della superficie dei mari è, a irradiazioni pari, minore del riscaldamento della superficie delle terre emerse.

Raffreddamento delle terre e dei mari. — Per le stesse ragioni noi possiamo senz'altro affermare che anche il raffreddamento prodotto dalla irradiazione della superficie è maggiore in terra che in mare. Ma qui abbiamo un'altra circostanza che concorre ad accentuare tale differenza di comportamento. Il raffreddamento prolungato determina infatti nelle masse d'acqua dei *movimenti convettivi,* cioè un ricambio fra gli strati superficiali e gli strati profondi, assai più intenso ed esteso di quello che è prodotto dall'evaporazione. Per effetto del raffreddamento l'acqua superficiale si contrae, diventa più densa e più pesante, e quindi si sprofonda, essendo sostituita in superficie dall'acqua sottostante, che, continuando il raffred-

damento, precipita a sua volta, essendo sostituita da acqua di uno strato più profondo. Questo processo continua finchè esiste nella massa profonda dell' acqua che sia più calda di quella che si raffredda in superficie. Per questo continuo rimescolamento d'acqua si forma uno strato superficiale *a temperatura uniforme,* di spessore tanto più grande quanto maggiore e più prolungato è il raffreddamento. Così ogni mattino si trova tanto in un lago che in mare uno strato superficiale *omotermo* (a egual temperatura) formatosi per il raffreddamento notturno : e alla fine d'inverno troviamo che lo strato omotermo può raggiungere lo spessore di centinaia e anche migliaia di metri, come si verificò nel febbraio 1911 per l'Adriatico, dove, anche nel bacino più profondo, di oltre 1200 m., si riscontrò temperatura uniforme in tutta la profondità.

Mentre quindi in terreno solido il raffreddamento, dovuto all'irradiazione, è limitato a uno strato superficiale di pochi metri, entro il quale esso diminuisce molto rapidamente, cosicchè la variazione annua di temperatura si annulla a 20-30 m. di profondità, nelle masse acquee esso si estende a uno strato molto più profondo. La quantità di calore irradiata dal terreno solido è poi sensibilmente maggiore di quella irradiata, per area eguale, da una superficie d'acqua, perchè il *potere irradiante* del terreno è maggiore, e perchè l'irradiazione cresce col crescere della superficie irradiante. Ora, mentre la superficie dell'acqua è liscia, la superficie del terreno è ruvida, cioè, per eguale contorno è molto maggiore, tanto più se il terreno è coperto di vegetazione erbosa o arborea, perchè allora la superficie irradiante è quella dei fili d'erba, dei rami e delle foglie.

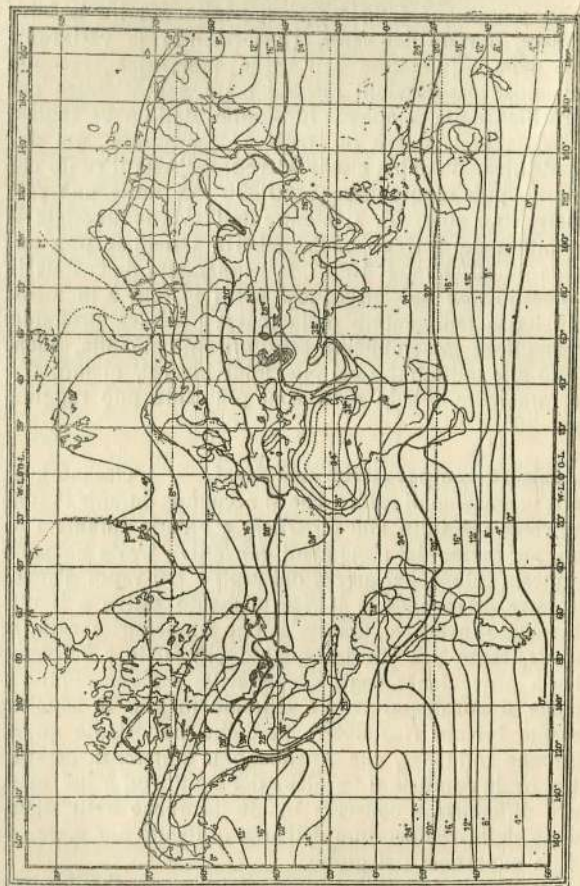
Il raffreddamento delle superfici acquee è quindi notevolmente minore di quello delle superfici solide.

Distribuzione della temperatura sulla superficie del globo. — Le conclusioni dei due paragrafi precedenti sono confermate dalla variazione diurna ed annua della temperatura dell'acqua in alto mare, e del suolo in

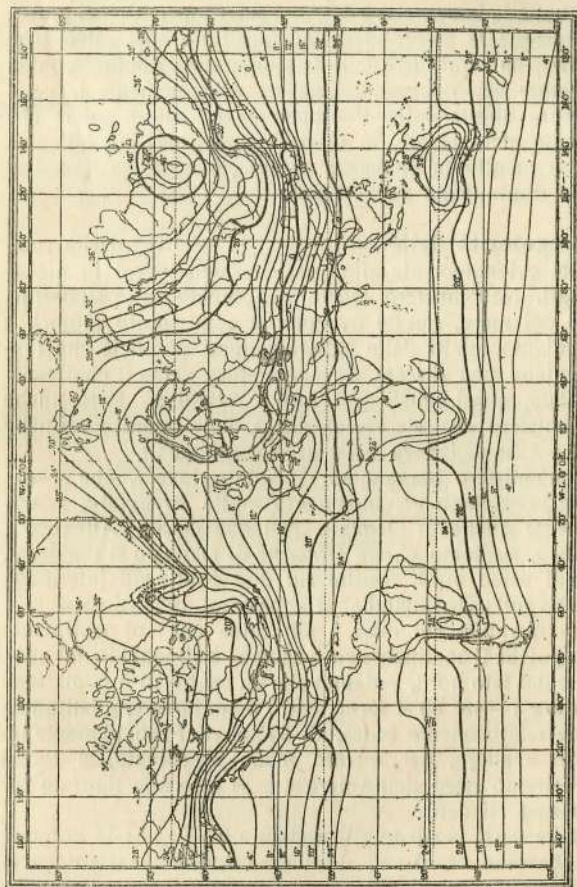
regioni molto interne nei continenti, dove l'effetto del riscaldamento solare e del raffreddamento per irradiazione è meno perturbato dalle reciproche influenze fra la terra e il mare, portate dai venti. Così, mentre la variazione diurna della temperatura dell'acqua superficiale, secondo le numerose osservazioni raccolte tanto nell'Atlantico che nel Pacifico dalla campagna idrografica della nave inglese *Challenger*, non superò in media 1° Centigrado, nei deserti d'Africa, d'Arabia e dell'interno dell'Asia il suolo che di giorno può raggiungere i 60°-70°, di notte può raffreddarsi fino sotto 0°. E mentre dall'inverno all'estate la temperatura del terreno nella Siberia Orientale può variare da — 70° C. a + 40° C., la temperatura dell'acqua in alto oceano *non può* discendere sotto 1° (che è in media la più bassa temperatura della massa oceanica profonda) e si mantiene generalmente sensibilmente più alta, anche alle più alte latitudini e nei più rigidi inverni, mentre d'estate raramente, e solo nelle zone più calde, può raggiungere i 30°.

L'azione temperatrice dei mari. — L'Oceano è un grande magazzino di calore, che si accumula durante l'estate e che viene restituito alla superficie e all'aria durante l'inverno, per mezzo dei movimenti convettivi. L'aria trasporta poi questo calore, per mezzo dei venti e del vapor d'acqua sulle terre, attenuandone il riscaldamento estivo e il raffreddamento invernale. Questa azione temperatrice sarà, in generale, tanto più efficace quanto più facile è l'accesso dell'aria proveniente dagli oceani nella regione continentale che si considera. Di ciò vedremo meglio in seguito; possiamo intanto riconoscere però che, nonostante queste reciproche influenze, che attenuano la differenza caratteristica fra le condizioni termiche dei continenti e dei mari, questa differenza si conserva manifesta anche nella distribuzione della temperatura dell'aria, al livello del mare, su tutta la superficie del globo.

Nelle Tavole I e II è rappresentata questa distribuzione nei mesi di Gennaio e di Luglio, che sono rispettivamente

i mesi centrali dell'inverno boreale e dell'estate australe, dell'estate boreale e dell'inverno australe.

Tav. I. — Isoterme del Gennaio.

Le linee isoterme. — Tale rappresentazione è data per *linee isoterme*. Si immaginino cioè segnate su un grande

planisfero le temperature medie del Gennaio e del Luglio di tutti i punti nei quali furono fatte osservazioni termo-

Tav. II. — Isoterme del Luglio.

metriche, e si conducano a occhio delle linee curve che riuniscano tutti i punti aventi una temperatura eguale:

queste sono *linee di eguale temperatura*, o *isoterme*. Il sistema di esse mette in evidenza le leggi colle quali è distribuita la temperatura dell'aria sulla superficie del globo.

Ambedue le tavole ci dicono anzitutto che, salvo irregolarità, su ogni meridiano la temperatura diminuisce dall'equatore verso i poli. E' questa evidentemente la conseguenza diretta della distribuzione del calore solare che abbiamo visto essere, in ogni stagione, massima all'equatore, o meglio in vicinanza di esso, e andar progressivamente diminuendo verso i poli.

Irregolarità delle isoterme. — Le irregolarità sono dovute evidentemente alla presenza delle terre in mezzo ai mari. Nell'emisfero australe, occupato in grandissima parte dal mare, queste irregolarità sono molto minori, e vi vediamo infatti delle isoterme quasi parellele che rappresentano una discesa di temperatura verso il continente antartico, quasi eguale per tutti i meridiani. Però anche nell'emisfero australe riscontriamo delle ondulazioni nelle isoterme in vicinanza delle aree continentali.

Nell'emisfero boreale noi vediamo, invece, che le isoterme presentano un andamento molto irregolare, principalmente quelle di Gennaio. Nei due oceani, Atlantico e Pacifico, vediamo che le isoterme di Gennaio si innalzano da sud verso nord, mentre sui due continenti intermedi, e anche sulla Groenlandia, si abbassano da nord verso sud. La temperatura sui mari è più calda che sui continenti; anzi, poichè il continente euro-asiatico è circondato dal mare anche dal lato nord, vediamo che un centro di minima temperatura (—48° C) si forma entro il continente, a latitudine anche relativamente bassa, di 67° circa. Probabilmente un centro analogo, per quanto meno accentuato, si forma nell'estremo nord dell'America, e se esso non figura è per mancanza di dati.

Nella carta per il Luglio vediamo invece che le isoterme si abbassano verso sud sugli oceani, e si innalzano verso nord sui continenti. L'irregolarità è meno evidente che per il Gennaio, ma ciò risponde al fatto che, mentre è

possibile un riscaldamento estivo anche forte della superficie acquea, perchè gli strati fortemente riscaldati, e quindi più leggeri, rimangono a galla, invece per il raffreddamento invernale vi è un limite abbastanza elevato di temperatura, al di sotto del quale le acque superficiali non possono scendere mentre il raffreddamento del suolo non ha, si può dire, alcun limite. Sui continenti osserviamo anche la formazione di isoterme chiuse, che segnano delle aree di massima temperatura : una sull'Africa settentrionale che spinge una sua propaggine sull'Arabia, la Persia fino al Tibet, e una sul Messico.

A determinare, o meglio ad attenuare e modificare, queste irregolarità nella distribuzione della temperatura concorrono le correnti aeree ed oceaniche e le pioggie, come vedremo in seguito : rimane tuttavia evidente l'influenza delle terre e delle acque.

Differenze di temperatura fra terra e mare, su uno stesso parallelo. — Se ricaviamo dalle due carte la differenza massima di temperatura che si osserva su un medesimo parallelo fra un punto entro terra e un punto in alto mare, vediamo, che fino alla latitudine del minimo siberian essa va crescendo dell'equatore verso i poli. Così abbiamo p. es. che tale differenza massima (Mare-Terra) è

	GENNAIO	LUGLIO
all'equatore	— 3° circa	— 4°
a 20° Lat.	+ 6°	— 10°
a 40° Lat.	+ 23°	— 13°
a 60° Lat.	+ 35°	— 15°
a 70° Lat.	+ 44°	— 9°

Ciò risponde al fatto che la differenza delle stagioni si accentua, per le ragioni astronomiche date nel primo capitolo, colla latitudine. Abbiamo veduto infatti che la differenza fra la durata del giorno e la durata della notte, che all'equatore è sempre nulla, va crescendo colla lati-

tudine. All'equatore e nelle latitudini più basse non vi è una spiccata distinzione di stagioni e i continenti vi si mantengono sempre più caldi del mare. Invece, man mano che ci innalziamo verso i poli, l'inverno e l'estate si distinguono in modo sempre più evidente, e diventano sempre più spiccati gli effetti del diverso riscaldamento e raffreddamento della terra e del mare.

QUARTA LEZIONE

Termodinamica dell'Atmosfera.

Trasformazione di energia nell'atmosfera. — *Termodinamica* dicesi quel ramo della Fisica, che studia le leggi secondo le quali il lavoro si trasforma in calore e viceversa. Poichè *energia* dicesi la possibilità di compiere un lavoro, e il calore è una energia, possiamo dire che la Termodinamica studia le leggi della trasformazione dell'energia.

Le radiazioni solari rappresentano una energia che, attraversando l'atmosfera e arrivando alla superficie terrestre, viene trasformata in altre forme, producendo calore, movimenti e lavori diversi. La vita della Terra dipende principalmente da queste trasformazioni.

Tutti gli effetti delle trasformazioni dell'energia solare nell'atmosfera si intrecciano e si sommano fra di loro, influenzandosi reciprocamente: non è quindi facile separarli uno dall'altro, per studiare separatamente la legge di trasformazione che determina ciascuno di essi. Si deve quindi ricorrere all'artificio di studiare come l'energia assumerebbe una determinata forma, se nello stesso tempo non si verificassero anche le altre forme.

Studiamo p. es. come l'energia solare si trasformerebbe in calore entro l'atmosfera, se nello stesso tempo in questa non si verificassero fenomeni di movimento, che rappresentano un consumo di energia, nè trasformazioni del vapore acqueo per cui viene assorbito (evaporazione) o sviluppato del calore (condensazione). Consideriamo cioè un'atmosfera di aria ferma e non mai satura di vapore.

Immaginiamo questa atmosfera distinta in strati orizzontali di spessore variabile coll'altezza, in modo che tutti

gli strati abbiano una massa eguale. Poichè, come vedremo, l'aria si dirada rapidamente col crescere dell'altezza, lo spessore di questi strati va crescendo rapidamente.

Ognuno di questi strati è attraversato dall'alto al basso dalle radiazioni solari, e dal basso all'alto dalle radiazioni oscure emananti dal suolo, e una frazione dell'energia di radiazione rimane assorbita dallo strato, e tende ad elevarne progressivamente la temperatura. Ma lo strato irradia a sua volta, cioè emette dell'energia, e la quantità irradiata cresce rapidamente col crescere della temperatura, secondo una legge nota. Si raggiungerà quindi una temperatura invariabile, quando la quantità di energia assorbita sarà eguale alla quantità di energia irradiata, cioè il dare sarà eguale all'avere.

Ora, come abbiamo veduto (pag. 19), l'energia solare è data da un complesso di onde di tutte le lunghezze, brevi e lunghe: poniamo di poterle distinguere in due gruppi, e sia B_1 l'energia delle onde brevi e B_2 l'energia delle onde lunghe. Lo studio della distribuzione delle onde solari, del così detto *spettro solare*, che si ottiene con appositi strumenti, ci dice che B_1 è assai maggiore di B_2.

Abbiamo visto anche che le onde brevi sono più facilmente diffuse, che cioè la loro energia si disperde facilmente, perchè si comunica alle particelle d'aria. B_1 è quindi massima al limite superiore dell'atmosfera, e va rapidamente diminuendo da strato a strato nella sua propagazione verso il basso. Ogni strato non assorbe che una frazione k_1 B_1 di questa energia, frazione che cresce dal basso all'alto.

Invece il gruppo delle onde lunghe, di energia B_2, attraversa gli strati superiori, come si è veduto a pag. 20, senza perdita sensibile, e solo negli strati inferiori, per effetto specialmente del vapore d'acqua, subisce un assorbimento sempre crescente. Sia k_2 B_2 la frazione di energia delle onde lunghe solari che viene assorbita da ogni strato; questa frazione diminuisce dal basso all'alto.

Le radiazioni oscure (di onde lunghe) emananti dal suolo hanno un'energia A_2 che viene rapidamente assorbita dagli

strati inferiori ricchi di vapor d'acqua, e che quindi va rapidamente diminuendo dal basso all'alto. Sia $k_2 A_2$ la frazione di questa energia irradiata dal suolo che viene assorbita da ogni strato; anche questa diminuisce dal basso all'alto.

La somma totale di energia assorbita da uno strato ad altezza qualsiasi è quindi

$$k_1 B_1 + k_2 B_2 + k_2 A_2$$

Perchè la temperatura dello strato non varii, questa somma dev'essere eguale alla energia oscura E_2 che lo strato emette per irradiazione; dovrà essere cioè

$$E_2 = k_1 B_1 + k_2 B_2 + k_2 A_2$$

Passando da uno strato all'altro, dal suolo verso il cielo, vediamo che mentre $k_2 A_2$ e $k_2 B_2$ diminuiscono prima rapidamente e poi molto lentamente, invece $k_1 B_1$ cresce prima lentamente e poi rapidamente.

Si comprende perciò la possibilità che in principio E_2, e quindi la temperatura, diminuisca coll'altezza, perchè la diminuzione di $k_2 B_2 + k_2 A_2$ prevale sull'aumento di $k_1 B_1$. A una certa altezza le due variazioni si faranno equilibrio e la temperatura rimarrà per un certo tratto costante. Negli strati più alti prevarrà l'aumento di $k_1 B_1$ e la temperatura crescerà coll'altezza.

Distribuzione verticale della temperatura. — Queste conclusioni, che abbiamo enunciato come evidentemente probabili, sono perfettamente confermate dai fatti.

Lo studio rigoroso della temperatura degli alti strati dell'atmosfera si può dire iniziato soltanto da 15 anni, col lancio di palloni (*palloni sonda*) che trasportano un termometro metallico registratore, e che, dopo un'ascesa di parecchi chilometri (si crede di aver raggiunto persino i 39 chilometri), per opportune disposizioni ricadono lentamente cogli strumenti. I risultati ottenuti in questo modo hanno completamente rovesciato le idee prima dominanti sulle condizioni termiche dell'atmosfera, idee fondate sulle osservazioni fatte con termometri ordinari in palloni montati da aeronauti, le quali erano affette da errori enormi.

Riporto i valori medi delle temperature osservate a varie altezze, da chilometro a chilometro, in parecchie centinaia di lanci di *palloni sonda* in Europa.

ALTEZZA CHILOMETRI								
0	1	2	3	4	5	6	7	8
7°.90	4°.62	0°.06	—.4°.95	—.10°.66	—.16°.89	—.23°.71	—.30°.75	—.38°.01

ALTEZZA CHILOMETRI							
9	10	11	12	13	14	15	16
—.44°.41	—.49°.91	—.52°.83	—.54°.18	—.54°.45	—.54°.42	—.54°.28	—.54°.05

Da questa tabella appare che la temperatura in media diminuisce coll'altitudine fino a 13 chilometri circa, per tornare a crescere lentamente oltre quell'altezza.

Se si osservano poi le differenze di temperatura di 100 in 100 m., registrate nella seguente tabella :

Da 0 a 1 km.	0.33	Da 8 a 9 km.	0.64
» 1 a 2 »	46	» 9 a 10 »	52
» 2 a 3 »	50	» 10 a 11 »	32
» 3 a 4 »	57	» 11 a 12 »	14
» 4 a 5 »	62	» 12 a 13 »	03
» 5 a 6 »	68	» 13 a 14 »	00
» 6 a 7 »	70	» 14 a 15 »	— 01
» 7 a 8 »	73	» 15 a 16 »	— 02

si vede che, mentre la temperatura decresce dal basso all'alto con legge sempre più rapida fino a 8 chilometri d'altezza, dopo decresce con legge sempre più lenta, e oltre 12 chilometri si può dire costante, con un accenno anzi a una *inversione:* cioè negli strati più alti la temperatura non diminuisce, ma cresce coll'altezza.

Ma i numeri precedenti rappresentano uno stato *medio*, risultante da centinaia di casi, nel quale perciò le irregolarità di distribuzione sono attenuate. Se si considerano i casi singoli, si constata che, nella grande maggioranza di essi, il distacco fra uno strato inferiore di 9-13 chilometri, nel quale la diminuzione di temperatura è irregolare ma in generale molto rapida, e uno strato superiore dove si arresta ed è spesso sostituita da un aumento, è molto più spiccata. Cito come esempio il lancio del 7 marzo 1912 a Pavia :

Altezza sul liv. del mare	Temperatura	Diminuzione per ogni 100 m.
Suolo (77 m.)	6°.2	
720	4°.5	— 0°.27
1410	0.4	— 0.59
1980	— 4.8	— 0.91
2560	— 9.6	— 0.83
3150	— 14.9	— 0.89
4080	— 20.9	— 0.64
4820	— 28.3	— 1.00
5630	— 34.0	— 0.70
6340	— 38.0	— 0.56
7110	— 43.6	— 0.73
7850	— 48.9	— 0.72
9090	— 60.3	— 0.92
9260	— 62.4	— 1.23
9450	— 62.1	+ 0.16
10300	— 58.6	+ 0.41
11440	— 53.3	+ 0.30
12380	— 50.5	+ 0.30
13730	— 51.8	— 0.10
15270	— 52.5	— 0.05
16480	— 52.7	— 0.02

Vediamo netto il passaggio fra lo strato atmosferico inferiore a 9100 m. circa e quello immediatamente superiore. Mentre nel primo vi è diminuzione progressiva di

temperatura (in media di O°,77 C ogni cento metri), improvvisamente, nel passaggio allo strato superiore, tale diminuzione è sostituita da un aumento, cioè da *inversione*. Non sempre questa si verifica, ma sempre vi è un rapidissimo arresto nella diminuzione.

L' altezza alla quale tale arresto si verifica è variabile, come già accennai, fra 9 e 13 chilometri, nelle nostre latitudini ; si comprende perciò come nelle tabelle precedenti, che rappresentano una situazione *media*, tale passaggio di temperatura dallo strato inferiore al superiore appaia molto attenuato.

Il fatto della separazione dell'atmosfera in due strati sovrapposti, caratterizzati da una distribuzione di temperatura così diversa, fu constatato prima col lancio di palloni sonda in Francia, in Germania e poi in tutta Europa, e poi in tutte le parti del mondo, dalle regioni artiche alle equatoriali, dall' interno dei continenti all'alto oceano. Esso è quindi una *proprietà* della nostra atmosfera : *la Terra è circondata, alla distanza di pochi chilometri dal suolo da uno strato a temperatura presso a poco uniforme*, anzi in media leggermente crescente coll'altezza secondo la teoria. La distanza di questo strato dal suolo è variabile colle stagioni e collo stato del tempo, e in media cresce dal polo all'equatore, conforme alla teoria del paragrafo precedente, perchè alle latitudini più basse è più intensa la radiazione del suolo e maggiore l' assorbimento delle radiazioni oscure per la maggiore umidità dell' aria.

Lo strato superiore isotermo o a inversione fu chiamato *Stratosfera*, l' inferiore *Troposfera*.

Tutti i fenomeni più evidenti dell'atmosfera, che si riassumono nella parola *Tempo,* si svolgono nella Troposfera la quale, nonostante il suo spessore assai piccolo rispetto all'altezza dello strato d'aria dove si svolgono tuttavia fenomeni visibili (stelle cadenti e aurore boreali), rappresenta però i tre quarti della massa atmosferica.

Questo giudizio è confermato dalle misure *barometriche*.

Pressione atmosferica. — L'aria, come corpo pesante, esercita una pressione su tutti i corpi, che sono in essa immersi. Ogni strumento che serve a misurare questa pressione dicesi *barometro.* Il più comune è il primo strumento col quale fu constatata la pressione atmosferica da Torricelli nel Secolo XVII : il *barometro a mercurio*, o *tubo torricelliano.* In un tubo di vetro, chiuso da una parte, prima riempito di mercurio e poi capovolto coll'estremità aperta in una vaschetta che contiene pure del mercurio, si mantiene elevata, al di sopra del livello del mercurio nella vaschetta, una colonna di mercurio di altezza variabile col variare del tempo, ma oscillante attorno a 76 cm., se lo strumento è al livello del mare. Il tubo deve essere quindi parecchie decine di centimetri più lungo, e lo spazio in esso sovrastante al mercurio è vuoto (vuoto torricelliano). Poichè la tendenza di un liquido in due vasi comunicanti è di mettersi al medesimo livello nei due vasi, e, se ciò non si verifica, si deve conchiudere che, nel vaso dove il livello è più basso, il liquido è premuto più che nell'altro vaso, così dobbiamo ammettere che sul livello nella vaschetta viene esercitata una pressione.

Nel caso nostro questa pressione non può essere esercitata che dall'aria sovrastante, e poichè la superficie del mercurio nel tubo non è soggetta ad alcuna pressione, perchè lo spazio sovrastante è vuoto, l'altezza della colonna, quando questa è verticale, misura la pressione atmosferica.

Supponendo che la sezione del tubo abbia l'area di un centimetro quadrato e la colonna abbia l'altezza di 76 cm. sopra il livello nella vaschetta, il volume di mercurio che sta elevato è di 76 centimetri cubi, e poichè ogni cm. cubo di mercurio alla temperatura zero pesa grammi 13,592, il peso della colonna di mercurio che fa equilibrio alla pressione atmosferica su un centimetro quadrato è di 1033 gr. Naturalmente, se la temperatura del mercurio è diversa, l'altezza della colonna sarà differente, ma conoscendo il coefficente di dilatazione del mercurio, sarà facile dedurre quale altezza si dovrebbe avere se la temperatura fosse zero.

Densità dell'aria. — Come si disse, l'altezza barometrica, ossia la pressione atmosferica, non è costante, anche a barometro fisso in un punto, ma varia colle condizioni del tempo. Essa poi varia spostando il barometro, e la variazione è assai rapida se lo si sposta verso l'alto, lungo la verticale. Ciò si comprende facilmente: poichè la pressione atmosferica non è che l'espressione del peso dell'atmosfera sovrastante, man mano che ci innalziamo, lasciamo sotto di noi una parte di questa atmosfera, che non gravita più sul barometro. Anche nell'acqua la pressione decresce dal fondo alla superficie, perchè diminuisce lo spessore d'acqua sovrastante. Ma, mentre nell'acqua questa diminuzione è assai approssimativamente proporzionale all'innalzamento, perchè la densità dell'acqua varia pochissimo colla profondità, nell'aria invece la diminuzione è assai più complessa, perchè la densità dell'aria diminuisce rapidamente coll'altezza.

L'aria infatti è una miscela di gas che, come tali, sono comprimibili e dilatabili. Se cresce la pressione su una data massa d'aria, questa si riduce in volume minore; se la pressione diminuisce, essa si dilata in volume maggiore; e se nello stesso tempo non varia la temperatura, questa dipendenza fra pressione e volume è espressa da una legge assai semplice (legge di Boyle): *il prodotto della pressione e del volume è costante.* Ma, quando una data massa d'aria si restringe in volume minore, cresce la sua *densità* (che è la massa del volume *uno*, p. es. di 1 decimetro cubo, se si prende il litro come unità di volume), perchè nel volume *uno* viene compressa maggior quantità di gas; e analogamente, se la massa si dilata, diminuisce la densità. E' evidente che, poichè la massa di un volume V è il prodotto di questo volume per la densità d, e la massa che si restringe o dilata è sempre la stessa, che il *prodotto* $V \times d$ *si mantiene costante.* La legge di Boyle si può esprimere quindi anche dicendo che, non variando la temperatura, il rapporto fra la pressione e la densità è costante, che cioè *la densità è proporzionale alla pressione.*

La legge caratteristica dei gas. — In un'atmosfera supposta a temperatura uniforme, poichè man mano che ci innalziamo diminuisce la pressione, deve diminuire anche la densità. Sollevandoci di 100 m. dal suolo noi lasciamo sotto di noi lo strato d'aria più compresso e più denso; sollevandoci di altri 100 m. lasciamo sotto di noi uno strato meno denso del primo, e quindi la diminuzione di pressione è più piccola; e così via la diminuzione è progressivamente sempre più lenta per successivi sollevamenti di 100 in 100 m., essendo proporzionale alla pressione media dominante nello strato che si è attraversato per ultimo.

La legge di variazione della pressione coll'altezza si complica, se si tien conto che coll'altezza varia anche la temperatura. Il volume, e quindi la densità, di una data massa di gas variano infatti anche col variare della temperatura: col crescere di questa il gas si dilata, col diminuire si restringe. Indicando con V_0 il volume di una massa di gas a 0° C. e con V il suo volume alla temperatura t°, la legge che esprime la dipendenza del volume dalla temperatura è (Legge di Gay Lussac) è espressa dalla formola $V = V_0 (1 + at^\circ)$ dove a è un coefficiente costante *(coefficiente di dilatazione) eguale per tutti i gas* e avente il valore $\frac{1}{273}$. La formola precedente si può scrivere anche $V = \frac{V_0}{273} (273 + t^\circ) = \frac{V^\circ}{273} T$ dove T è la *temperatura assoluta*, misurata come già si disse da 273° sotto lo 0° del termometro centigrado. Quindi il *volume di una data massa di gas a pressione costante è proporzionale alla sua temperatura assoluta*, e, data la relazione $V \times d = \text{cost.}$ che lega il volume e la densità, la legge di Gay Lussac si può formulare anche: *a pressione costante, è costante il prodotto della densità e della temperatura assoluta di una data massa di gas.* Combinando la legge di Boyle con quella di Gay Lussac si ha *la legge caratteristica dei gas*, la quale dice che il prodotto della densità e della temperatura assoluta di una massa di gas è

proporzionale alla pressione alla quale la massa è assoggettata, o in altri termini che, indicando con *p* la pressione, è

$$p = R\,d\,T$$

dove R è una costante, variabile da gas a gas.

In base a questa legge Laplace dedusse una formola che esprime la legge con cui varia la pressione lungo la verticale nell'atmosfera, quando si conosca la legge con cui varia la temperatura. E' a notarsi però che la densità dell' aria dipende anche dal suo grado di umidità, e nella formola di Laplace è tenuto conto anche di questa circostanza. E' in base alla formola di Laplace che si deduce appunto che la *troposfera* comprende circa i $^3/_4$ della massa atmosferica. Così nel citato lancio di pallone sonda a Pavia, nel quale il limite tra la troposfera e la stratosfera era verso 9400 m., cioè eccezionalmente basso, tuttavia la pressione al limite stesso non era che di circa 20 cm., e a 13 km. d'altezza era circa 11 cm. (poco più del settimo della pressione al livello del mare).

Movimenti convettivi. — Consideriamo una colonna verticale d'aria, isolata idealmente nella troposfera, e in equilibrio, tale cioè che in essa e attorno ad essa l'aria sia ferma. Qualunque sia la legge di variazione verticale della temperatura, la pressione varierà in essa e attorno ad essa secondo la formola di Laplace. Su ogni piano orizzontale a distanza qualsiasi dal suolo la pressione è uniforme, e se, essendo la pressione a terra di 760 mm., consideriamo i piani sui quali la pressione sia rispettivamente di 660, 560, 460 etc. mm., del barometro a mercurio, questi piani non sono equidistanti, ma la distanza di due successivi va crescendo coll'altezza.

Supponiamo ora che l'aria nella parte inferiore della colonna venga riscaldata più dell'aria ambiente, per effetto p. es. di un maggiore riscaldamento del suolo nella base A B della colonna stessa. Sia A B C D (fig. 5) la porzione di colonna in cui tale riscaldamento è sensibile: l'aria in essa contenuta si dilata, cioè una parte di essa esce dalla por-

zione stessa, e in questa la densità diminuisce. Comprendiamo già che, avendo dell'aria meno densa e quindi più leggera immersa in aria più densa, la prima dev' essere spinta all'insù. Ma vediamo meglio come questo processo si verifichi. Entro la colonna così riscaldata la pressione diminuisce meno lentamente che nell' aria ambiente, appunto perchè l'aria è più leggera, e quindi sul tratto C D

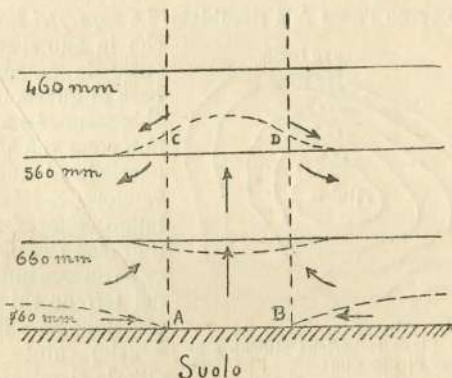



Fig. 5. — Movimenti convettivi di una colonna d'aria riscaldata

di piano D la pressione non è più di 560 mm., ma più alta, cioè la superficie lungo la quale la pressione è uniforme (*superficie isobarica*, o di egual pressione), di 560 mm., non si conserva più un piano, ma si eleva a forma convessa verso l'alto al disopra della colonna riscaldata.

Nel piano C D (e nei piani contigui) si stabilisce un dislivello di pressione, essendo questa più alta nell' area C D che tutt'attorno. Ora è evidente che, trovandosi a contatto due masse di gas a pressione differente, vi è la tendenza a ristabilire l'equilibrio delle pressioni, passando una parte della massa più compressa alla massa meno compressa : si stabilisce quindi un movimento di *efflusso* dalla parte superiore della colonna. La colonna diminuisce quindi

di peso, perchè perde di massa: diminuisce cioè la pressione sulla parte inferiore, e in particolare sul suolo, entro l'area A B. Ma allora negli strati inferiori viene a formarsi una distribuzione di pressione inversa a quella che abbiamo visto formarsi all'estremità superiore della colonna. Nell'area A D, e negli strati sovrastanti, alla base della colonna d'aria, si stabilisce una pressione minore che tutto all'intorno, e quindi si determina un *afflusso* d'aria dall'intorno verso l'area A B riscaldata. Le *superfici isobariche*, che in alto si sollevano entro la colonna, alla base di questa invece si abbassano. Le più basse non sono più dei piani paralleli al suolo, ma vengono a intersecarlo lungo *linee isobariche* (tali cioè che ognuna di esse riunisce tutti i punti del terreno sui quali la pressione barometrica è eguale) chiuse intorno all'aria riscaldata, e racchiudenti in questa un *minimo di pressione*, cioè un punto o un'area centrale nella quale la pressione è più bassa che tutt'all'intorno (fig. 6).

Fig. 6. — Linee isobariche attorno a un minimo di pressione.

Verso questo minimo l'aria affluisce, e poichè nello stesso tempo effluisce aria dalla parte superiore della colonna, in questa si stabilirà, come nella canna di un camino, una corrente ascendente (fig. 5).

Naturalmente se la colonna d'aria invece si raffreddasse, per effetto p. es. di una forte irradiazione del suolo nell'area A B, si svolgerebbero tutti i fenomeni opposti. La colonna si contrarrebbe; le superfici isobariche si incurverebbero verso il basso nella parte superiore, verso l'alto nella parte inferiore, determinando quindi sul suolo un sistema di *linee isobariche* chiuse intorno a un *Massimo di pressione* (fig. 7). In alto si avrebbe *afflusso* d'aria verso

la colonna, in basso si avrebbe *efflusso* da questa, e dentro di essa un movimento discendente.

Ciò che si è detto dell'effetto del riscaldamento o del raffreddamento di una colonna d'aria che si appoggia al suolo, può ripetersi se il riscaldamento o il raffreddamento si verifica anche a distanza dal suolo; ma in tal caso le variazioni di pressione si ripercoterebbero immediatamente su tutti gli strati sottostanti.

Fig. 7. — Linee isobariche attorno a un massimo di pressione.

Riassumendo noi vediamo che le irregolarità della distribuzione dell'energia solare sulla superficie terrestre e nell'atmosfera determinano anche una irregolarità nella distribuzione della pressione, e movimenti che diconsi *convettivi*, analoghi a quelli che si verificano in una pentola riscaldata sul fondo. In altri termini una parte dell'energia solare diretta, o irradiata dal suolo e dall'atmosfera, viene trasformata in *energia di moto* e in *energia potenziale*: la prima corrispondente ai movimenti convettivi, la seconda alle differenze di pressione. Infatti una differenza di pressione è analoga a una differenza di livello in un canale di acqua, la quale rappresenta una *possibilità* o *potenzialità di lavoro*, in quanto con essa si può determinare una caduta d'acqua capace di mettere in moto delle macchine. Nello stesso modo una differenza di pressione rappresenta la possibilità di un movimento d'aria, di un *vento*, col quale si possono muovere delle macchine, come i molini a vento e le navi a vela.

Distribuzione convettiva della temperatura nella troposfera. — I movimenti convettivi, determinati dalle differenze di temperatura, tendono a correggere le differenze stesse, tanto in senso orizzontale che in senso verticale. Presso terra noi abbiamo un continuo ricambio di aria tra le regioni più calde e le regioni più fredde: tra l'equatore e i poli, fra i continenti e i mari, fra il mare e la spiaggia, fra i monti e il piano, che attenuano le differenze spiccate di temperatura, quali tenderebbero a stabilirsi se il ricambio stesso non avvenisse. Le leggi di questo ricambio saranno studiate nel capitolo seguente.

Ma anche in senso verticale i movimenti convettivi tendono a stabilire una distribuzione di temperatura affatto differente da quella che si stabilirebbe pel semplice ricambio di calore radiante.

Quale possa essere questa distribuzione, che chiameremo di *equilibrio radiante*, ce lo dicono approssimativamente le condizioni che effettivamente noi verifichiamo assai spesso negli strati più bassi dell'atmosfera, in pianura, e quando l'aria è molto calma e stagnante. D'estate noi verifichiamo spesso in tali condizioni una rapidissima diminuzione verticale di temperatura, di 2° e anche 3° C. per ogni 100 m. di sollevamento: oltre 3°, 4 questa diminuzione per 100 m. non può verificarsi, perchè si dimostra facilmente colla formola di Laplace che, per una diminuzione più rapida, si avrebbe aria più densa in alto che in basso, condizione che non può evidentemente mantenersi. D'inverno invece è normale la condizione di *inversione della temperatura*: poichè il suolo si raffredda fortemente per la irradiazione prolungata, e anche l'aria a immediato contatto con esso, e che irradia fortemente verso di esso, si raffredda più dell'aria più alta, cioè la temperatura, invece di decrescere, *cresce coll'altezza* fino a una certa distanza (che può raggiungere e superare il chilometro) dal suolo.

Queste condizioni eccessive, tanto d'inverno che d'estate, si verificano più facilmente negli strati più bassi, presso terra, appunto perchè la superficie terrestre rappresenta un impedimento allo stabilirsi di movimenti verticali, sia ascen-

denti che discendenti: i moti ascendenti incominciano a qualche distanza da terra, e non possono raggiungere una velocità sensibile che a una certa altezza, i moti discendenti si smorzano contro la resistenza del suolo, in vicinanza del quale si stabilisce come un cuscino d'aria stagnante al disopra del quale si diffonde l'aria discendente.

A distanza dal suolo l'aria ha invece piena libertà di movimenti ascendenti e discendenti, e poichè sono molteplici le cause che possono determinare questi movimenti, oltre la causa termica accennata nel paragrafo precedente, siamo portati ad ammettere che effettivamente la condizione normale dell'atmosfera sia un continuo rimescolamento fra gli strati superiori e inferiori. Come già si disse la costanza nella composizione dell'atmosfera fino a 9-10 km. d'altezza, dove l'uomo ha potuto arrivare, è una prova della realtà di questa induzione, almeno fino a quell'altezza.

La distribuzione verticale della temperatura, dove dominano moti verticali, è determinata non più dal ricambio dell'energia radiante, ma dai moti verticali stessi.

Consideriamo infatti una massa d'aria che si abbassi, e per ora supponiamo che sia aria secca, cioè priva di vapor acqueo. La massa d'aria, abbassandosi, entra in strati a pressione sempre crescente, e quindi si comprime: cioè viene accumulato dall'aria ambiente su di essa il lavoro di ridurla a volume minore, contro la tendenza che essa ha ad espandersi. Questo lavoro rappresenta una energia che l'aria ambiente accumula nella massa, e che, entro questa, si trasforma in energia termica: *la massa cioè si riscalda.* In fisica elementare questo riscaldamento dell'aria compressa viene dimostrato coll'esperienza dell'*acciarino pneumatico*: comprimendo fortemente dell'aria in un tubo chiuso, a stantufo, si sviluppa tale calore che, se nel tubo si è posta dell'esca, questa si accende.

E' evidente che, se la massa d'aria invece si solleva, e, penetrando in strati a pressione decrescente, si dilata, essa deve raffreddarsi, perchè dilatandosi sposta l'aria ambiente, che tende per la pressione in essa dominante a mantenere

il suo posto; quindi la massa ascendente compie un lavoro, cioè consuma dell'energia, che deve prendere dalla propria riserva di energia termica.

Si dimostra che *una massa d'aria secca, la quale si sollevi nell'atmosfera, si raffredda per questa ragione di 1° C. ogni 100 m. di sollevamento, e una massa che si abbassi si riscalda di 1° C. ogni 100 m. di abbassamento.*

Ma l'aria è umida, contiene cioè del vapor d'acqua, che trascina con sè ne' suoi movimenti ascendenti e discendenti. Poichè l'aria ascendendo si raffredda, quando sarà raggiunta una certa altezza, la temperatura si sarà abbassata in modo, che il vapore contenuto nell'aria sarà sufficiente a *saturarla.* A partire da quell'altezza, se la massa d'aria, ormai *satura*, continua a sollevarsi, e quindi a raffreddarsi, e se, com'è il caso più normale, essa contiene dei *nuclei di condensazione*, il vapor d'acqua incomincierà a condensarsi in goccioline. *Così si formano le nubi*, o, almeno, questo è senza dubbio il processo più comune di formazione delle nubi.

Ma il vapore condensandosi sviluppa del calore, il quale va a diminuzione del raffreddamento che si verificherebbe per il sollevamento. A partire dal momento in cui incomincia la prima condensazione la legge di diminuzione verticale della temperatura diventa perciò notevolmente più lenta; non è più di 1° ogni 100 m. ma molto minore, variabile colla temperatura e la pressione dello strato dove incomincia la saturazione (e quindi coll'altezza), cosicchè mentre, p. es., al livello del mare la variazione è di 0°,76 per 100 m., se la temperatura è — 10° C., è solo di 0°,38 se la temperatura è di 30°, e a 5000 m. di altezza la variazione è 0°,63 se la temperatura è di — 10°, mentre è di 0°,50 se la temperatura è di 0° C. In media si può dire grossolanamente che *la temperatura di una massa d'aria satura ascendente diminuisce negli strati inferiori di $^1/_2$ grado per 100 m. di sollevamento.*

Nel caso di moto discendente, se l'aria è umida, ma non satura, essa, riscaldandosi, si allontana sempre più dallo stato di saturazione, diventa cioè sempre più secca;

se è satura, la sua temperatura crescerà in media di $^1/_2$ grado ogni 100 m. di discesa, finchè per tale aumento di temperatura cessa di essere satura, e a partire da questa altezza si riscalderà presso a poco come se fosse secca, cioè di 1° ogni 100 m.

Fino alla altezza entro la quale si mantengono quasi incessantemente movimenti convettivi verticali, questi tendono a stabilire una diminuzione verticale della temperatura che non può superare 1° C. per ogni 100 m.

La tabelletta di pag. 42 ci dice appunto che *nella media di molte osservazioni* questa diminuzione non superò 0°,73. Essa ci dice inoltre che tale diminuzione va crescendo progressivamente dal suolo fino a 8 chilometri, per diminuire in seguito fino ad annullarsi, e a invertirsi, nella stratosfera.

L'aumento progressivo si spiega facilmente, quando si pensi che *in media* l'umidità, cioè la quantità di vapore diffuso nell'aria, va diminuendo coll'altezza; diminuisce quindi la probabilità che si condensi il vapore, ed è minore la quantità di calore che si sviluppa per condensazione, avvicinandosi sempre più l'aria alla condizione di secchezza assoluta, per la quale la diminuzione è di un grado. La diminuzione molto lenta che si verifica *in media* presso terra si spiega poi considerando la frequenza del fenomeno di *inversione* (pag. 42) della temperatura negli strati più bassi, per la quale invece di diminuzione si ha aumento.

In generale i movimenti convettivi mantengono una distribuzione di temperatura lungo la verticale molto meno accentuata di quella che si verificherebbe se dominasse soltanto l'equilibrio radiante, e, benchè il riscaldamento dell'aria sia dovuto principalmente alla irradiazione del suolo, per gli strati più bassi questo figura piuttosto come un refrigerante, perchè il fenomeno della *inversione* è molto frequente.

Strati di salto. — Se invece della media di molte osservazioni si esaminano singole serie di misure di temperatura, ottenute con lanci isolati di palloni sonda, si vede

che la distribuzione è assai spesso molto irregolare, essendo la diminuzione ora più rapida, ora più lenta, a varie altezze, e verificandosi spesso il fenomeno dell' inversione anche negli strati superiori. Talvolta questa inversione, cioè un aumento di temperatura coll' altezza è così rapido da corrispondere a un vero *salto* di temperatura : si entra improvvisamente, salendo nell'atmosfera, da uno strato più freddo in uno strato più caldo anche di parecchi gradi. Più di rado si verifica il salto opposto, da uno strato inferiore più caldo a uno superiore più freddo, perchè è evidente che questo essendo più pesante, appunto perchè è più freddo, ha la tendenza a cadere verso il basso, sollevandosi a sostituirlo l'aria sottostante che è più leggera, e potrà mantenersi in alto solo se dotato di una grande velocità (vento freddo superiore). Anche il salto per inversione si può spiegare colla sovrapposizione di un vento caldo a un vento freddo, ma può spiegarsi anche come effetto di movimenti discendenti limitati entro uno strato alto. Nel movimento discendente abbiamo visto infatti che l'aria si riscalda e diventa secca: dove il moto si arresta, quest'aria si distende in uno strato caldo asciutto sopra lo strato sottostante più freddo e più umido.

E' notevole il fatto che *gli strati di nubi corrispondono di solito a strati di salto :* se il salto è a inversione, esso rappresenta il limite superiore della nube, perchè al disopra l'aria calda e asciutta non permette la condensazione: se il salto invece è normale (repentina diminuzione di temperatura dal basso all'alto) esso rappresenta il limite inferiore. In ambedue i casi (ma il primo è di gran lunga il più frequente) la superficie della nube non si presenta piana, ma a onde, che raffigurano con grande evidenza le onde del mare, su scala più grandiosa. Spesso avviene di ammirare questo spettacolo dall'alto di una montagna che sovrasti a uno strato di nubi.

Anche il passaggio dalla troposfera alla stratosfera è un salto a inversione, e rappresenta il limite superiore delle nubi più alte, i cirri. Al disopra non si formano mai nubi; e, poichè si è visto che la formazione delle nubi è dovuta

quasi esclusivamente ai movimenti verticali ascendenti, possiamo dire che *nella stratosfera non vi sono movimenti convettivi,* cioè in essa l'aria si muove quasi esclusivamente di moto orizzontale.

Troposfera e stratosfera. — È questa la distinzione più caratteristica fra troposfera e stratosfera, dalla quale dipendono tutte le altre. La troposfera è lo strato d'aria inferiore entro il quale si svolgono tutti i movimenti convettivi verticali prodotti dalla diversa distribuzione dell'energia solare sulla terra, e le conseguenti trasformazioni del vapor d'acqua, e in cui la distribuzione di temperatura è regolata dai moti convettivi stessi. La stratosfera è lo strato superiore dove i movimenti verticali sono affatto secondari, dove quindi il vapore non si condensa, e la distribuzione di temperatura corrisponde esclusivamente all'equilibrio radiante.

QUINTA LEZIONE

La circolazione dell'atmosfera.

Effetto della rotazione terrestre. — Immaginiamo di trovarci su un'ampia piattaforma circolare (fig. 8) girevole attorno al suo centro P, e di lanciare un proiettile nella direzione A B, con velocità tale che dopo un minuto secondo esso arriverebbe in B, se la piattaforma fosse ferma. Ma poichè la piattaforma gira e noi, col proiettile prima di essere lanciato, abbiamo una velocità per la quale dopo un minuto secondo arriviamo in A^1, il proiettile combina questa velocità, che già possiede per effetto della rotazione della piattaforma, con quella che nuovamente riceve, ed effettivamente si moverà secondo la risultante, arrivando dopo un minuto secondo in C, sulla diagonale del parallelogrammo che ha per lati A A^1, A B. Ma mentre noi ci siamo spostati da A ad A^1, il punto B si è spostato in B^1 essendo l' angolo A P A^1 eguale all'angolo B P B^1, perchè sono eguali ambedue all'angolo di cui è rotata, da destra a sinistra (per noi che siamo ritti coi piedi in A), la piattaforma. Poichè B è più lontano dal centro che A^1, l'arco B B^1, descritto con raggio maggiore, è maggiore dell'arco A A^1 e quindi dell'arco B C eguale a questo. Il punto a cui arriva il proiettile rimane quindi *indietro*, rispetto alla rotazione, del punto a cui noi l'avevamo diretto, e che rotando con noi, ci pare fisso.

Fig. 8. — Deviazione del movimento su un disco rotante.

E' evidente che se noi fossimo in B e lanciassimo il proiettile verso A^1 esso arriverebbe in C^1 sulla diagonale del parallelogrammo che ha per lati B A e B B^1, cioè in un punto *più avanti* rispetto alla rotazione del punto a cui l'avevamo diretto e che dopo un secondo si trova in A^1.

In ambedue i casi il movimento è *deviato verso destra* della direzione in cui l'abbiamo diretto rispetto alla terra.

Ma anche se noi lanciamo il proiettile in direzione tangente in A all'arco A A^1 esso continua a moversi secondo quella retta tangente, cioè fuori dell'arco stesso *verso destra.*

Quindi, se noi riferiamo il movimento di un mobile a punti di un piano rotante da destra verso sinistra, il movimento stesso ci appare deviato verso destra dalla direzione nella quale inizialmente era lanciato, e ciò qualunque sia questa direzione.

Se la piattaforma rotasse in senso contrario, il movimento apparirebbe deviato *verso sinistra.*

Ora un uomo che si trovi in un punto dell'emisfero boreale ruota col suolo su cui appoggia, da destra verso sinistra, come nel caso della piattaforma. Poniamo infatti che esso si mantenga in modo da guardare verso nord, nella direzione del meridiano. Per la rotazione della terra da occidente a oriente, questa direzione varia sempre, girando da destra verso sinistra, e varia tanto più rapidamente quanto più si è vicini al polo: al polo stesso l'uomo compie un giro intero su sè stesso in un giorno. All'equatore invece varia la posizione dell'uomo ma non varia la direzione verso cui guarda, perchè all'equatore i meridiani sono paralleli fra loro.

Sull'emisfero australe un uomo che guardasse verso sud girerebbe su sè stesso, per la rotazione della terra da occidente a oriente, da sinistra verso destra, e così il suolo sottostante.

Se noi riferiamo quindi il movimento a punti della superficie terrestre, come dobbiamo fare perchè non ci accorgiamo di moverci colla terra nel suo moto di rotazione, possiamo affermare che *ogni movimento che si inizia in una*

data direzione viene deviato da questa direzione verso destra nell'emisfero boreale, verso sinistra nell'emisfero australe; tale deviazione è nulla all'equatore, e va crescendo, in senso opposto, verso i poli.

Leggi del movimento dell'aria. — Una particella di aria è un mobile, ma non si move se circondata d'aria a pressione uniforme. Appena si stabilisce una differenza di pressione sui vari punti della sua superficie, essa è spinta a moversi nella direzione secondo la quale la pressione diminuisce più rapidamente.

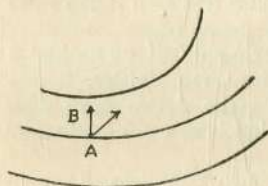



Fig. 9. — Inclinazione del movimento dell'aria sulla direzione di massima decrescenza della pressione.

Ma, appena incomincia a moversi, essa viene deviata per effetto della rotazione terrestre, cosicchè non percorre la linea di più rapida decrescenza della pressione, ma una linea inclinata su di questa. Si dimostra anzi che, se il suolo e l'aria ambiente non esercitassero una resistenza *d'attrito,* dopo breve tempo il moto sarebbe normale alla direzione di massima decrescenza della pressione.

Se la distribuzione della pressione è rappresentata per mezzo di *linee isobariche* (pag. 50) la direzione di più rapida decrescenza della pressione in un punto A (fig. 9) è la direzione A B perpendicolare alla linea isobarica in A; la direzione del moto, cioè del *vento*, è inclinata su questa direzione di un angolo tanto maggiore quanto minore è l'attrito, cosicchè in alto mare, dove la superficie terrestre è più liscia, essa devia poco dalla direzione dell'isobara; è inclinata sull'isobara stessa verso sinistra nell'emisfero boreale, verso destra nell'emisfero australe, dove si intende *sinistra* e *destra* rispetto a un uomo che riceva il vento nelle spalle. Questa legge fu constatata la prima volta dal meteorologo olandese **Buys-Ballot** e dicesi *Legge di Buys-Ballot.*

Rotazione ciclonica e anticiclonica. — E' facile convincersi così che, data una distribuzione di pressione come quella rappresentata nella fig. 6, definita da isobare chiuse intorno a un minimo, l'aria non va direttamente e riempire il minimo, ma *ruota* attorno ad esso, con moto più o meno convergente verso di questo, in senso opposto a quello del movimento dell'indice dell'orologio nell'emisfero boreale, in senso conforme nell'australe. Un simile sistema di pressione e di venti dicesi *Ciclone*, e la rotazione che lo distingue dicesi *rotazione ciclonica* (fig. 10).

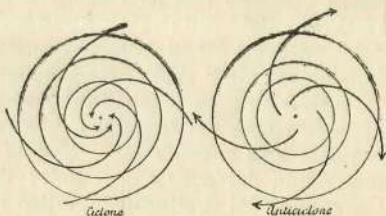



Fig. 10. — Rotazione ciclonica e anticiclonica.

Se la distribuzione della pressione è come nella fig. 7, definita da isobare chiuse attorno a un massimo, il vento effluisce dal centro rotando in senso conforme alla rotazione dell' indice dell'orologio nell'emisfero boreale, in senso opposto nell'australe. Tale sistema di pressione e di venti dicesi *Anticiclone*, e la rotazione che lo distingue *rotazione anticiclonica* (fig. 10).

Circolazione generale dell'atmosfera. — Nel capitolo 3° abbiamo veduto come sia irregolare la distribuzione della temperatura sulla superficie del globo, e in un paragrafo del capitolo precedente quali movimenti convettivi risultino da tale irregolarità, e quale effetto questi producano nella distribuzione della pressione. Le regioni più calde diventano sede di basse pressioni, le più fredde di alte pressioni, e più innanzi abbiamo mostrato quale dipendenza esista, per effetto della rotazione terrestre, fra la distribuzione dei venti e la distribuzione della pressione, al livello del mare.

Nella distribuzione della temperatura noi possiamo di-

stinguere una condizione generale da una condizione speciale: come si è visto, *in media*, la temperatura diminuisce dall'equatore ai poli, ma tale legge generale è perturbata dalla presenza dei continenti che si riscaldano d'estate e si raffreddano d'inverno più degli oceani. Queste due condizioni debbono riflettersi anche nella distribuzione della pressione e dei venti: la distribuzione attuale è la sovrapposizione degli effetti delle due condizioni stesse. Per studiarla giova quindi studiare separatamente questi due effetti.

Consideriamo un emisfero tutto oceanico, nel quale venga a mancare cioè l'effetto della presenza dei continenti, e a dominare sola la condizione generale di diminuzione della temperatura dall'equatore ai poli: l'emisfero australe, se si prescinde dal continente antartico che occupa la calotta polare, si trova approssimativamente in tale condizione.

All'equatore e in una zona attigua ad esso abbiamo una fascia piu calda che, secondo i principi svolti, diventa sede di una fascia di bassa pressione, perchè sopra di essa si determina una corrente d'aria ascendente.

Ad alimentare questa corrente affluisce lungo la superficie terrestre aria dalle latitudini superiori, e questo afflusso si verifica non direttamente da nord a sud nell'emisfero boreale, o da sud a nord nell'australe, ma per la Legge di Buys Ballot è deviato dalla direzione diretta verso l'equatore (lungo il meridiano) a destra nel primo emisfero, a sinistra nel secondo. Avrem quindi dei venti di N E (nord-est) nel primo, di S E (sud-est) nel secondo. Questi venti si verificano infatti in una larga zona attorno all'equatore, nelle parti occupate dagli oceani: Cristoforo Colombo scoprì l'America centrale, perchè le sue caravelle entrarono nella zona tropicale dell'Atlantico settentrionale dove dominano quasi costantemente venti di N E che ne favorirono la navigazione verso occidente; la spedizione di Magellano arrivò alle Antille orientali attraverso il Pacifico, favorita dai venti di S E dominanti in quella zona tropicale australe. Questi venti costanti, che sono una delle caratteristiche fondamentali della circolazione aerea presso terra, diconsi *venti etesi o alisei.*

Parrebbe che questi venti di nord-est nell'emisfero boreale, di sud-est nell'australe, dovrebbero estendersi su tutto l'emisfero, perchè è continua la diminuzione di temperatura e quindi dovrebbe essere continuo l'aumento di pressione dall'equatore verso i poli. Ma non si tien conto in questa deduzione, che pare spontanea, della forma sferica della terra, per la quale i cerchi paralleli, che sarebbero attraversati successivamente da questo grande flusso d'aria, vanno progressivamente restringendosi verso i poli, e del fatto che a questo grande flusso inferiore verso l'equatore dovrebbe corrispondere un riflusso verso i poli negli strati superiori. Questo afflusso porterebbe un progressivo accumulo d'aria entro aree sempre più ristrette. Il problema fu sottoposto a discussione teorica, dalla quale risultò la necessità meccanica che l'afflusso d'aria verso l'equatore, deviato verso ovest, sia limitato a una zona che rappresenta poco più della metà dell'area dell'emisfero, limitata a circa 35° di latitudine. Al di là di questo limite verso nord e verso sud debbono dominare venti in senso opposto, di sud-ovest nell'emisfero boreale, di nord-ovest nell'australe, e nelle due calotte polari ristabilirsi un sistema di venti analogo agli alisei. La grande corrente dal polo all'equatore sarebbe cioè interrotta da una zona nelle latitudini medie, ove domina una corrente in senso opposto.

A queste correnti inferiori debbono corrispondere delle correnti superiori aventi direzione *meridiana* opposta, cioè verso nord se i venti inferiori sono verso sud, e viceversa. Se infatti ciò non fosse, data una circolazione tutta uniforme in ogni parallelo, si avrebbe un progressivo accumulo da un lato e una progressiva rarefazione dell'aria dall'altro lato del parallelo stesso, perchè non vi sarebbe compenso per la massa d'aria inferiore che lo attraversa in un senso o nell'altro. Considerando solo i movimenti verso sud o verso nord, noi avremmo su ogni emisfero tre circolazioni distinte per le tre zone, tropicale, media e polare (fig. 11 per l'emisfero boreale, *schematica*).

La teoria dimostra che, salvo una piccola zona equatoriale, sulla quale la corrente si mantiene fino a grande

altezza diretta verso ovest, le correnti superiori hanno una componente verso est, forte specialmente nella zona media, dove si ha quindi vento di ovest tanto in basso (sud-ovest) quanto in alto (nord-ovest).

Le zone di contatto delle tre circolazioni, dove la direzione dei venti presso terra si inverte sono evidentemente *zone di calma*. Al di sopra di quella che separa la zona degli alisei dalla zona media dei venti di sud-ovest (boreali) o nord-ovest (australi) si ha un moto discendente d'aria; e un moto ascendente su quella che divide la zona media dalla polare. Poichè abbiamo visto che i movimenti verticali sono limitati alla troposfera, lo debbono essere anche gli orizzontali, che sono intimamente collegati con quelli: quindi la *circolazione generale* che abbiamo descritto è la *circolazione della troposfera*.

Fig. 11. — Circolazione della troposfera in un piano meridiano.

Il carattere fondamentale di questa circolazione è il predominio del movimento da ovest ad est, movimento (dobbiamo bene averlo presente) relativo alla superficie terrestre che è dotata di un movimento suo proprio nello stesso senso. *Nella massa della troposfera predomina quindi un movimento di rotazione attorno all'asse terrestre più rapido di quello della Terra.* E' una grande somma dell'energia solare che mantiene questa energia di moto.

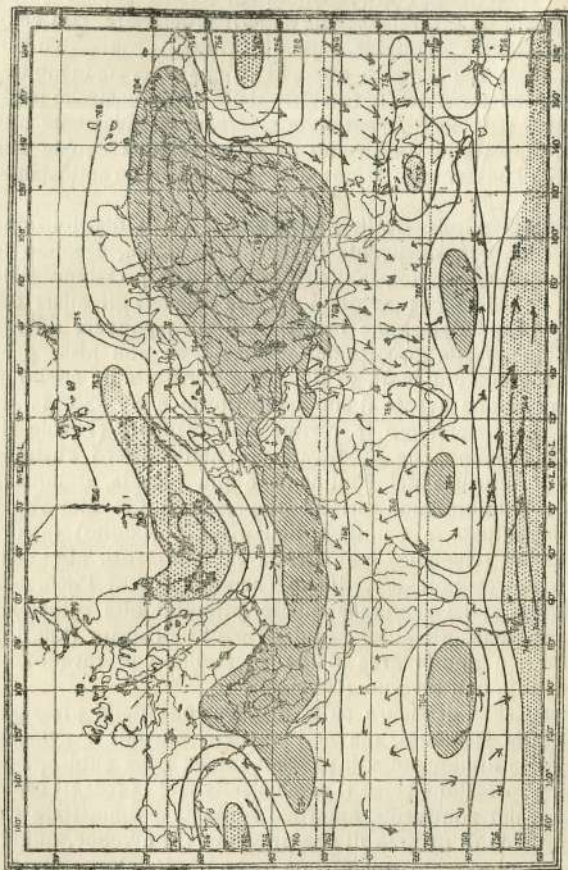
Movimenti nella stratosfera. — Pochissimo si sa dei movimenti nella stratosfera. Generalmente quando un pallone entra in essa, segna una sensibile caduta nel vento, e già a non grande altezza (20 km.) fu osservato vento da est: così pure le ceneri lanciate a grandissima altezza nell'atmosfera dall'eruzione di Krakatoa nel 1884 furono diffuse su tutta la terra (e diedero origine ai famosi *crepuscoli rossi*) portate da alte correnti di est con velocità gran-

dissima (da 35 a 45 m. al secondo). Finalmente furono osservate delle nuvole, di natura ignota, che si movevano da est, a 80 km. d'altezza, con velocità di 100 m. al secondo. Questi movimenti da est, relativi alla superficie terrestre, con velocità crescente coll'altezza, rappresentano il progressivo rallentamento della massa atmosferica che è via via meno trascinata nel movimento rotatorio della terra, cosicchè negli altissimi strati sarà *ferma nello spazio*, e, relativamente alla terra, rappresenterà un vento di est di velocità eguale alla velocità che per la rotazione diurna ha il terreno sottostante.

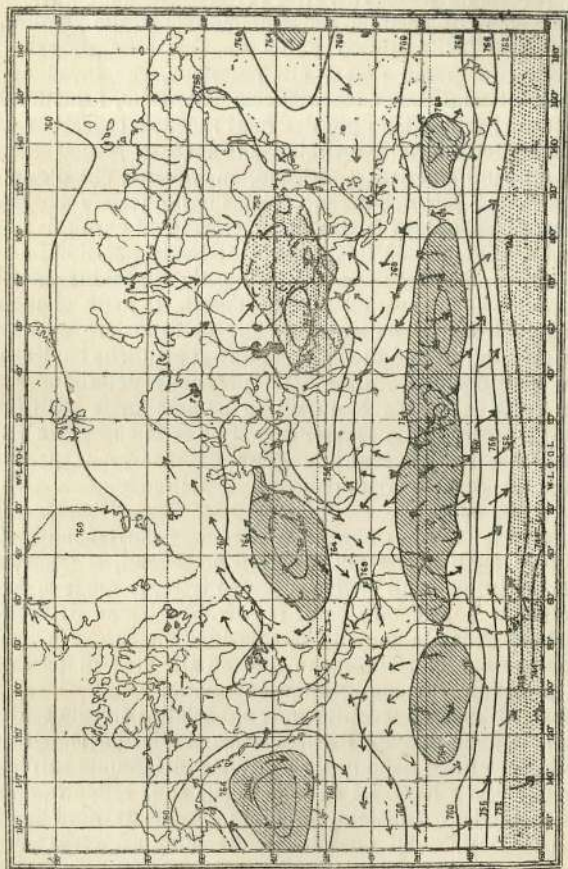
Distribuzione della pressione. — Alla distribuzione dei venti così prospettata deve corrispondere, secondo la legge di Buys-Ballot, la distribuzione della pressione. Alle zone di calma che dividono nei due emisferi gli alisei dai venti di sud delle zone medie deve corrispondere un'alta pressione. Nella circolazione generale, se non fosse perturbata dai continenti, si dovrebbe verificare un anello di alta pressione avente il suo asse attorno a 30°–35° lat.

Se noi osserviamo le cartine delle isobare (Tavole III e IV), vediamo che effettivamente nell'emisfero australe, dove l'influenza dei continenti è più piccola, domina a quelle latitudini una striscia di pressione più alta che è più accentuata e continua nell'inverno (Luglio) mentre nell'estate (Gennaio) è interrotta dai continenti. Ma anche nell'emisfero boreale vediamo che sugli oceani Pacifico e Atlantico si ha sempre a quelle latitudini alta pressione, che mantiene gli alisei; centri isolati nell'estate (Luglio), connessi a grandi aree d'alta pressione, che invadono i continenti, nell'inverno (Gennaio).

Poco si sa di sicuro sulla distribuzione della pressione nelle alte latitudini, ma nell'emisfero australe è evidente la rapida diminuzione di pressione dalla zona subtropicale di alta pressione verso il cerchio polare, e le recenti esplorazioni del continente antartico tendono a dimostrare che esso è sede di un'area di alta pressione: si avrebbe, quindi, attorno al cerchio polare una zona di pressione minima, conforme alla teoria. Nell'emisfero boreale l'influenza dei

continenti, che nelle alte latitudini occupano la maggior parte della superficie, perturba troppo profondamente le

Tav. III. — Isobare del Gennaio.

condizioni; rimangono però evidenti nel Gennaio le due aree di minimo nell'Atlantico e nel Pacifico settentrionale.

Influenza dei continenti. — D'inverno i continenti si raffreddano molto più dei mari e diventano quindi sede

Tav. IV. — Isobare del Luglio.

di alte pressioni; d'estate si riscaldano di più e diventano sede di basse pressioni. Combinando questo fatto colle

leggi della circolazione generale, svolte poc' anzi, ci spieghiamo perfettamente la distribuzione della pressione come è rappresentata nelle Tav. III e IV. Nel Gennaio (inverno boreale ed estate australe) noi vediamo che le alte pressioni subtropicali dell'Atlantico e del Pacifico settentrionali si fondono con grandi aree di alta pressione, che invadono i due grandi continenti, euro-asiatico e americano, i quali nell'inverno si raffreddano più dei mari; mentre la fascia subtropicale dell'emisfero australe viene spezzata precisamente dai continenti americano, africano, australiano, che d'estate si riscaldano più dell'oceano. Nel Luglio (estate boreale e inverno australe) i continenti americano ed euro-asiatico, che si riscaldano, diventano sede di basse pressioni, e le alte pressioni oceaniche assumono un'estensione molto maggiore che d'inverno, perchè d'estate il mare si mantiene più freddo della terra; mentre nell'emisfero australe la fascia subtropicale di alta pressione si mantiene continua.

La distribuzione attuale della pressione nelle due stagioni calda e fredda è quindi la somma della distribuzione generale quale si verificherebbe se la superficie terrestre fosse tutta oceanica e della distribuzione speciale dovuta al diverso riscaldamento e raffreddamento delle terre e dei mari.

A questa distribuzione della pressione corrisponde, secondo le leggi svolte nei paragrafi precedenti, la distribuzione dei movimenti dell'aria presso terra, la quale si può egualmente considerare come la sovrapposizione della circolazione generale e delle circolazioni cicloniche e anticicloniche che si stabiliscono attorno alle aree di bassa e alta pressione sui continenti e sui mari.

Così nell'inverno il continente euro-asiatico diventa centro di una grande rotazione *anticiclonica* d'aria, da sinistra a destra, per effetto della quale è attivata una grande corrente da sud-ovest a nord-est su tutta la sua zona settentrionale, mentre sul lato orientale scendono i venti da nord-ovest verso sud-est, e sul meridionale da nord-est verso sud-ovest, conforme agli alisei, che sul mare vengono così rafforzati.

D'estate invece il continente stesso diventa centro di una rotazione opposta, *ciclonica,* per effetto della quale l'aria sul lato meridionale e orientale affluisce dai mari contigui (oceano Indiano e Pacifico) verso l'interno di esso, mentre sul lato settentrionale sono i venti che dall'interno della Siberia orientale scendono fino alla Russia meridionale.

Possiamo analogamente dar ragione di tutto l'andamento della circolazione dei venti quale è tracciato schematicamente con poche frecce nelle carte III e IV. Esse ci dimostrano che in alcune zone vi è una netta inversione di venti da una stagione all'altra. Questo fatto è particolarmente evidente nei mari dell' India e Indocina e dell'Asia orientale, nella zona degli alisei boreali. Noi vediamo che questi d' inverno vengono rafforzati, perchè a mantenerli concorre il grande afflusso d'aria emanante dall'Asia, mentre d'estate sono sostituiti da correnti quasi opposte corrispondenti alla grande chiamata che esercita la grande depressione centrale dell'Asia. Questi sistemi di venti che si invertono da una stagione all'altra diconsi *Monsoni,* la zona indicata dove essi dominano *regione dei monsoni,* e il fenomeno, che si verifica in primavera e in autunno, della sostituzione di un sistema all'altro *inversione dei monsoni.*

Vediamo inoltre come attorno alle grandi aree di alta pressione domina una circolazione da sinistra a destra nell'emisfero boreale, da destra a sinistra nell'australe, e circolazioni inverse attorno ai grandi centri di bassa pressione.

Cicloni e anticicloni. — Nelle correnti d'acqua vediamo formarsi dei vortici assorbenti, nei quali l'acqua gira rapidamente, formando imbuto, e contemporaneamente vediamo in altri punti l'acqua sorgere dal fondo espandendosi in superficie. Questi moti vorticosi discendenti, e i correlativi moti ascendenti, sono dovuti alla formazione di vene contigue nelle quali si stabilisce una velocità differente : così a valle delle pile di un ponte si forma acqua quasi stagnante, mentre dagli archi esce la corrente rafforzata dall'ostacolo, e sulle linee di separazione di questa

da quella si forma una serie di vortici, che scendono colla corrente e si dissipano dopo breve percorso. Analogamente nelle grandi correnti aeree si formano dei grandi vortici, i quali però, a differenza dei vortici d'acqua, si mantengono per lungo tempo, anche per intiere settimane, percorrono con velocità propria dei tragitti di migliaia di chilometri, e possono assumere dimensioni grandiose di parecchie migliaia di chilometri di raggio. Non è ancora ben chiara la causa della loro formazione e della loro persistenza, mentre sono evidenti le leggi che li governano.

Questi grandi vortici aerei detti *Cicloni* hanno rotazione ciclonica, da destra a sinistra, nell'emisfero boreale, da sinistra a destra nell'australe, e poichè la legge di Buys-Ballot dev'essere sempre valida, nel centro del Ciclone deve formarsi un'area di bassa pressione, precisamente come nei vortici d'acqua vediamo abbassarsi il livello formando imbuto.

Possiamo quindi avere due specie di depressioni : quelle *fisse*, dovute a causa termica, formantisi cioè su aree più calde, di cui abbiamo parlato finora, e quelle *mobili* dovute a causa meccanica, prodotte cioè dal movimento rotatorio dell'aria, che per forza centrifuga viene lanciata all' infuori producendo un vuoto relativo nel centro. Nel primo caso si può dire che la circolazione è il prodotto della depressione, nel secondo caso che questa è il prodotto di quella : però la legge che lega i due fenomeni è nei due casi la stessa, la legge di Buys-Ballot. In ambedue i casi avremo poi, in vicinanza del centro, un movimento ascendente alimentato dall'afflusso d'aria dall' intorno, colla differenza però che, mentre nel primo caso questo movimento si può dire centrale, nel secondo per effetto del trasporto del ciclone, esso è spostato sulla parte anteriore, verso la quale il ciclone si move.

I cicloni mobili seguono traiettorie conformi alla circolazione delle grandi correnti aeree, girando cioè in senso anticiclonico attorno alle aree fisse di alta pressione. Anzitutto dobbiamo osservare che, siccome la rotazione dipende dalla deviazione prodotta dalla rotazione terrestre,

e questa deviazione è nulla all'equatore (pag. 60), *nella zona equatoriale non possono formarsi cicloni.* Solo al di là di circa 10 gradi di latitudine la loro formazione è possibile, e abbiamo allora dei *cicloni tropicali*, di grande intensità ma di piccola estensione: essi sono particolarmente frequenti nella regione dei monsoni, e all'epoca dell'inversione dei monsoni (pag. 69), quando in alcune regioni permane ancora il monsone del semestre precedente, mentre in regioni attigue si è già stabilito il monsone opposto.

Un ciclone tropicale, che si formi nell'oceano, si move in direzione anticiclonica attorno ai frammenti dell'anello subtropicale di alta pressione; quindi tanto nell'Atlantico che nel Pacifico settentrionali si sposta prima verso nord-ovest fino alle coste orientali dei continenti americano e asiatico, si innalza lungo queste verso nord, per ripiegare poi nelle latitudini medie verso nord-est, attraversando talvolta tutto l'oceano e invadendo i continenti dal lato occidentale. Sotto questo riguardo l' Europa si trova in condizioni assai diverse dall'America, perchè, mentre questa oppone, in immediata vicinanza della costa, il forte baluardo delle Rocciose, contro il quale generalmente i vortici si spezzano, l' Europa offre invece larghi valichi al loro passaggio, fra i rilievi montuosi dei Pirenei, delle Alpi e dei monti di Scandinavia, attraverso i quali per vie diverse possono invadere il continente e i mari interni, arrivando talvolta fino alla Siberia. E' a notarsi tuttavia che anche ad est delle Rocciose sul continente nord-americano si formano spesso, forse per effetto di movimenti tumultuosi provocati dal baluardo montuoso nelle grandi correnti che lo battono da ovest, e sono da esso deviate verso l'alto, dei grandi vortici ciclonici che seguono la loro naturale via verso est, attraverso il continente e l'Atlantico.

Nel continente australe i cicloni seguono leggi analoghe, tenendo però opposto senso di rotazione e traiettorie simmetriche a quelle dell'emisfero boreale, cioè da N E a S W nei tropici, poi a sud, e da ovest ad est nelle latitudini medie.

Le più spiccate *variazioni di tempo*, che si verificano specialmente nelle latitudini medie, come negli Stati Uniti e nell' Europa occidentale, sono dovute al passaggio di cicloni, e poichè le loro traiettorie, e il corredo di fenomeni metereologici che li accompagna, sono regolate da leggi, è specialmente sullo studio delle aree cicloniche che risultano dalle carte delle linee isobariche costruite ogni giorno sui dati di osservazioni barometriche simultanee, che è fondata la *previsione del tempo*.

Gli anticicloni mobili sono forme metereologiche assai meno spiccate dei cicloni, ma la loro propagazione, che è oggetto di studio da poco tempo, dà ragione di alcune caratteristiche variazioni di tempo in Australia, negli Stati Uniti, in Siberia. D' inverno essi producono al loro passaggio repentini e passeggeri raffreddamenti *(onde di freddo)*.

Influenza della circolazione aerea sulla distribuzione della temperatura. — Prescindendo per ora dalla distribuzione delle pioggie, che vedremo dipendere dalla circolazione aerea descritta, vediamo subito che questa ha una parte rilevante nella distribuzione della temperatura.

Anzitutto sappiamo che, al di sopra delle aree anticicloniche, per effetto del moto discendente dell'aria, vi è cielo sereno. Questa condizione si verifica sui continenti d'inverno, quando nelle alte latitudini le notti sono molto lunghe, e predomina l' irradiazione del suolo sulla radiazione solare. Ma abbiamo visto che con cielo sereno l' irradiazione è molto più forte che con cielo coperto; quindi anche il raffreddamento è più forte, cioè la *circolazione aerea accentua il raffreddamento invernale nell' interno dei continenti*. Così nella Siberia orientale si raggiungono spesso presso terra — 70° C, che è fra le minime temperature osservate anche a 9 - 10000 m. di altezza.

Invece nell'estate sulle aree continentali di bassa pressione predomina cielo coperto per effetto del moto ascendente dell'aria: è attenuato, quindi, anche per la formazione delle nubi e delle pioggie, il calore estivo.

In complesso nelle parti più centrali dei continenti l'azione della circolazione atmosferica è *refrigerante*.

Nelle zone temperate domina la corrente di ovest, la quale stabilisce una diversità spiccata fra le coste occidentali e le coste orientali dei continenti. Il vento arriva alle coste occidentali dopo aver attraversato l'oceano, che è più caldo d' inverno e più fresco d'estate che non le terre: arriva, quindi, vento tepido d' inverno e fresco d'estate, che attenua i caratteri delle due stagioni. Questo beneficio è particolarmente evidente per l' Europa, che per la sua struttura orografica permette l'accesso dei venti oceanici fino a grande distanza entro terra; mentre per l'America c'è sempre il baluardo delle Rocciose che li arresta.

Sulle coste orientali noi abbiamo d' inverno vento effluente dai centri d'alta pressione continentali, proveniente cioè da nord e dalle regioni più fredde; quindi inverno assai rigido. D'estate abbiamo sui continenti una circolazione ciclonica che porta alle coste orientali nelle zone temperate venti caldi di terra; quindi estate caldo. I caratteri delle due stagioni sono accentuati. Così a Pechino e a Nuova York si hanno inverno rigidissimo ed estate caldissimo, mentre in Inghilterra e sulle coste della Norvegia, benchè a latitudini molto più alte, si ha clima dolce in ambedue le stagioni: ma a ciò concorre, come vedremo, anche l' influenza delle correnti marine.

Nelle zone tropicali, dove domina costante, come nell'Atlantico, l'aliseo, le condizioni relative delle coste occidentali e orientali sono inverse alle precedenti. Nei tropici non è il caso di parlare di freddo invernale; ma quanto al caldo è certo che è molto minore per la costa americana battuta dall'aliseo che viene dal mare, che non per la costa africana (Sahara).

SESTA LEZIONE

La circolazione del mare.

Pressione e condizioni di movimento. — Come nell'atmosfera, anche nell'oceano si stabiliscono movimenti convettivi dipendenti da ineguaglianze nella distribuzione della pressione. Se la massa d'acqua di un mare è in equilibrio, ferma, la pressione cresce col crescere della profondità e con grandissima approssimazione è proporzionale a questa. Una colonna d'acqua di mare dell'altezza di poco più di 10 m. pesa come l'atmosfera (1033 gr. per centim. quadr.), ad altezza doppia la pressione è doppia e così via: solo per grandissime profondità la legge sarà alquanto più rapida, perchè l'acqua sotto alta pressione si comprime, per quanto pochissimo, e quindi diventa più densa e più pesante. Sempre però su ogni piano orizzontale la pressione è uniforme, cioè, come nell'aria ferma, le *superficie isobariche* sono piane. Che se, per una causa qualsiasi, cessano di essere piane, si stabilisce subito un movimento che tende a spianarle, affluendo l'acqua verso i punti e le zone dove la pressione è minore, dove cioè la superficie isobarica è concava, ed effluendo da quelle dove è convessa verso l'alto. A questi movimenti orizzontali corrisponderanno, come nei cicloni e anticicloni movimenti verticali: ascendenti se sono convesse le superficie isobariche degli strati superiori e concave quelle degli strati profondi, discendenti nel caso opposto.

Ora sono molteplici le cause che possono variare la distribuzione della pressione a una data profondità, ma esse si riassumono in tre: le variazioni della pressione atmosferica che grava sulla superficie del mare, i movi-

menti della massa per effetto dei quali il livello superficiale è spinto ad alzarsi da un lato e abbassarsi dall'altro e le variazioni di densità nella colonna sovrastante.

Poichè abbiamo visto che la pressione atmosferica è distribuita in modo non uniforme sulla superficie del mare e tale distribuzione varia continuamente, la superficie del mare, anche indipendentemente dai moti che continuamente la agitano, non è mai piana, ma concava sotto le pressioni più alte e convessa sotto le più basse; e, variando continuamente le aree di concavità e convessità, si comprende che tutta la massa d'acqua sia continuamente assoggettata a movimenti per accomodarsi alla pressione atmosferica del momento. Si tratta però di movimenti assai meno accentuati di quelli che per eguali differenze e variazioni di pressione atmosferica si verificano nell'aria, perchè l'acqua è molto più pesante e inerte, e maggiore è in essa l'*attrito interno* fra particella e particella.

Per effetto di movimenti superficiali l'acqua può venire accumulata da un lato, e abbassarsi dall'altro. Così se il vento spinge l'acqua verso una costa, essa vi è mantenuta più alta che al largo, e se in una vasta regione di mare si stabilisce un vortice superficiale, si abbassa il livello nell'interno di questo e si innalza all'esterno. Allora negli strati sottostanti la pressione sotto la zona elevata è maggiore che sotto la zona abbassata, e si stabilisce quindi un movimento profondo della prima verso la seconda.

Ma senza dubbio la condizione *più generale* di ricambio da strato a strato ed entro uno stesso strato è dovuta alle differenze e variazioni di densità, le quali dipendono da differenze e variazioni di temperatura e di salsedine.

Salsedine e temperatura del mare. — L'acqua di mare contiene in soluzione un gran numero di sali, tra i quali prevale il sale comune o cloruro di sodio: perciò essa dicesi *salsa*. Il peso complessivo di sali sciolti in un chilogrammo d'acqua di mare varia da mare a mare, e in ogni mare da punto a punto, ma, se si prescinde da una zona costiera in vicinanza delle foci dei fiumi, dove

l'acqua è più diluita, tale peso varia entro 34 e 39 grammi. Questo peso, in grammi, di sali sciolti in un chilogrammo d'acqua misura la *Salsedine*. E' un fatto notevolissimo che come nella troposfera il rapporto dei componenti dell'aria si mantiene costante in condizioni diversissime, così è pure costante, nonostante le variazioni della salsedine, il rapporto dei componenti dell'acqua di mare, cosicchè basta determinare il quantitativo di uno di essi, p. es. del cloro, per determinare la salsedine totale. Se Cl. indica la quantità di cloro (in grammi per chilogrammo) e S la salsedine, è

$$S = 0{,}30 + 1.805 \ \mathrm{Cl.}$$

Questo fatto è, come si è visto per l'analogo nella troposfera, conseguenza, almeno in parte, del continuo rimescolamento dell'intiera massa del mare.

Per una data temperatura la densità e il peso di una unità di volume (p. es. di un centimetro cubo) di acqua di mare dipende esclusivamente dalla salsedine, ma variando la temperatura essa varia, anche per salsedine costante. Si comprende quindi come la densità sia soggetta a variazioni molteplici, assai più complesse di quelle dell'aria, perchè i due elementi da cui dipende possono variare in modo affatto indipendente.

La salsedine può variare per la miscela di acque più dolci (come quelle dei fiumi, dei ghiacci solventisi, o di pioggia) che si distendono in superficie; per l'evaporazione, perchè in questa evapora soltanto l'acqua pura di soluzione; e per il congelamento, perchè gela soltanto l'acqua solvente e rimangono separati quindi i sali che aumentano la salsedine dell'acqua circostante.

La temperatura varia per effetto diretto della radiazione solare e della irradiazione superficiale e indirettamente per la irradiazione e per il contatto dell'aria, per la evaporazione e la condensazione del vapore, per la formazione del ghiaccio che sviluppa del calore, e finalmente per i movimenti convettivi che sono provocati dalle stesse differenze di temperatura e che le modificano. Abbiamo già accennato alle leggi generali che governano la distribu-

zione verticale della temperatura per il ricambio dell'energia solare nelle varie stagioni, e come essa sia regolata principalmente dai movimenti convettivi verticali che si determinano nei periodi di raffreddamento, o che sono determinati negli strati superficiali dalla evaporazione.

Ora il riscaldamento, il raffreddamento e l'evaporazione superficiale sono diversi nei vari punti della superficie oceanica, e variano col tempo e collo stato meteorologico. Si comprende perciò che anche la distribuzione verticale di temperatura di salsedine, e quindi di densità, sia diversa in ogni istante da punto a punto e si determinino perciò negli strati profondi diversità di pressione orizzontale, e quindi movimenti orizzontali, analoghi a quelli che si stabiliscono nell'atmosfera.

Senonchè, mentre nell'atmosfera, che è riscaldata dal basso, l'origine prima della circolazione generale si deve riconoscere principalmente nel maggior riscaldamento della zona equatoriale, nell'oceano tale origine deve riconoscersi principalmente nel minor riscaldamento e nel maggior raffreddamento della superficie nelle alte latitudini. L'acqua più fredda e quindi più densa, è resa tanto più densa dove la superficie gela, perchè aumenta la salsedine circostante, precipita al fondo; mentre nelle basse latitudini l'acqua più riscaldata rimane alla superficie, perchè si dilata e ha densità minore. A eguale profondità è quindi maggiore la pressione nelle alte che nelle basse latitudini e si stabilirà in corrispondenza un movimento degli strati inferiori, pel quale l'acqua fredda polare si diffonde verso l'equatore, mentre negli strati superiori vi è un movimento di ritorno dell'acqua più calda dall'equatore verso i poli. Per questo noi troviamo negli oceani al di sotto di 2000 m. di profondità una massa d'acqua fredda, a temperatura quasi uniforme e inferiore a + 3° C, mentre negli strati superficiali vi ha una progressiva diminuzione dall'equatore ai poli.

Nei mari chiusi come il Mediterraneo, che comunica coll'Atlantico solo negli strati superficiali attraverso lo stretto

di Gibilterra che è profondo solo 400 m., è impedita questa diffusione dell'acqua fredda polare, e nei suoi bacini, profondi 4000 e più metri, noi troviamo uno strato d'acqua a temperatura molto superiore, attorno a 12° C., che limita il raffreddamento invernale anche degli strati superiori, e superficiali, perchè non potrebbe l'acqua superficiale raffreddarsi sensibilmente al di sotto di quella temperatura senza precipitare al fondo, ed essere sostituita dall'acqua profonda più calda.

La dolcezza del clima della regione mediterranea è dovuta in gran parte a questa circostanza, che la temperatura invernale di tutto lo specchio d'acqua non può scendere al di sotto di 12° C.

Alla circolazione generale dovuta alle condizioni generali di riscaldamento e raffreddamento alle varie latitudini, per effetto della diversa densità che essi producono, debbono aggiungersi circolazioni parziali rispondenti allo stesso effetto prodotto da cause locali. Nulla sappiamo di positivo in proposito, perchè da pochi anni è iniziato lo studio fisico dei mari con metodi e strumenti rigorosi: certamente si tratta di movimenti assai lenti, benchè non si possa escludere che in alcune regioni profonde essi non si concentrino in vere *correnti*.

Correnti. — In vere correnti si coordina il movimento degli strati superficiali, a determinare le quali concorre però, oltre le cause già accennate, l'azione delle correnti atmosferiche, dei venti. Quando un vento corre su una superficie d'acqua calma, questa s'increspa immediatamente e, se il vento continua e cresce di forza, si formano le onde. La superficie quindi non si mantiene liscia, ma diventa ruvida, e il vento che scorre su di essa incontra una resistenza sempre più forte, per l'ostacolo delle onde che esso ha provocato. Su questo ostacolo il vento esercita una pressione che finisce coll'imprimere alla massa d'acqua superficiale un movimento. Questo movimento non è necessariamente nella direzione del vento, ma per effetto della rotazione terrestre che, come abbiamo veduto (pag. 58)

devia i movimenti dalla direzione della forza che li produce è, secondo la teoria, deviato verso destra nell'emisfero boreale, verso sinistra nell'emisfero australe dalla direzione del vento.

Se il vento dura a lungo si stabilisce così una *corrente di deriva* prima nello strato superficiale, ma che si trasmette poi per attrito agli strati profondi. In questa trasmissione entra ancora in giuoco l'azione della rotazione terrestre. La forza che sollecita un dato strato di acqua a muoversi è infatti l'attrito contro lo strato sovrastante che è già in movimento e che tende a trascinarlo con sè. Ma il movimento prodotto è sempre deviato dalla direzione della forza; quindi lo strato sottostante assumerà un movimento diverso da quello dello strato sovrastante; partendo dalla superficie la corrente di deriva sarà sempre più deviata verso destra nell'emisfero boreale, verso sinistra nell'australe. Il movimento si smorza però rapidamente col crescere della profondità, cosicchè le correnti superficiali sono limitate a uno strato superiore poco profondo, che può raggiungere lo spessore di qualche centinaio di metri solo nelle regioni dove domini con grande prevalenza un vento di determinata direzione. Dove il vento è variabile, si comprende che non si può stabilire una vera corrente di deriva, perchè la deriva prodotta in una data direzione viene cancellata dal vento che succede e che tende a stabilire una deriva diversa.

Vere correnti oceaniche di deriva debbono quindi verificarsi soltanto dove hanno spiccato predominio venti costanti. Dallo studio della circolazione aerea abbiamo dedotto che sull'Oceano Atlantico e sull'Oceano Pacifico domina tanto nell'emisfero boreale che nell'australe una circolazione anticiclonica attorno ai grandi centri di alta pressione, e ciclonica intorno a quelli di bassa pressione.

Così nell'Atlantico Settentrionale abbiamo la grande *corrente equatoriale*, mantenuta dagli alisei e che dalle coste d'Africa si spinge fino alle Antille e quindi unendosi a una corrente che esce dal golfo del Messico ritorna verso est, sotto l'impulso dei venti dominanti di sud ovest della

zona temperata. E' la grande *Corrente del Golfo* che, man mano che si accosta all'Europa si spande su grande estensione sulla superficie dell'Oceano e in parte ritorna verso sud lungo le coste del Portogallo e dell'Africa, in parte si estende a nord lungo le coste d'Irlanda, Scozia e Norvegia, entrando in vari rami fino ad alte latitudini nell'Oceano Artico. Una circolazione simmetrica a questa si verifica nell'Atlantico Meridionale, e due analoghe, benchè meno intense, perchè estese a un'area molto maggiore,

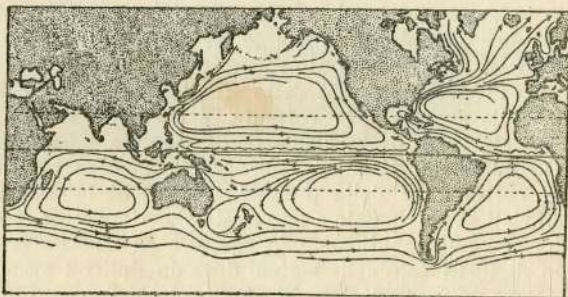



Fig. 12. — Correnti oceaniche.

nell'Oceano Pacifico. Dove una corrente nel suo giro circolatorio si allontana da un continente, s'insinua lungo questo una controcorrente in senso opposto. Così lungo le coste del Labrador, del Canadà e degli Stati Uniti Settentrionali, dove si stacca il Gulf Stream, si ha una corrente polare ; e un fatto analogo si verifica lungo le coste dell'America Meridionale, e dell'Asia Orientale (fig. 12).

Correnti locali si verificano negli stretti che uniscono mari di salsedine e temperatura diverse, come nello Stretto di Gibilterra dove vi è una corrente superiore d'ingresso dell'acqua meno salsa (Saldedine 35) dell'Atlantico e una profonda di uscita dell'acqua più salsa del Mediterraneo (Salsedine 39). Una corrente analoga che ha la forza di un fiume si verifica nel Bosforo fra il Mar Nero e il Mar

di Marmara, e nei Dardanelli fra questo e l'Egeo, e così fra il Baltico e il Mare del Nord, tra il Mar Rosso e l'Oceano Indiano e così via (fig. 13).

Influenza delle correnti sulla distribuzione della temperatura. — Come per le correnti atmosferiche, le correnti oceaniche, che rappresentano un lavoro compiuto a spese dell'energia solare, producono in ultima analisi una diminuzione dei dislivelli di temperatura che questa tenderebbe a stabilire nella massa oceanica a varia latitudine. Noi abbiamo delle correnti che dalla zona equatoriale trasportano acqua, naturalmente più calda, nelle alte latitudini. Nelle zone temperate e polari queste correnti hanno inoltre moto prevalente da ovest verso est, e concorrono quindi ad accentuare la differenza di temperatura che abbiamo visto determinata dalle correnti aree (pag. 70) fra le coste occidentali e orientali dei continenti. Il dolce clima d'Inghilterra e di Norvegia, e la forte deviazione delle isoterme nell'Atlantico Settentrionale (Tav. I, II) sono dovuti in gran parte alla Corrente del Golfo, mentre il rigore del clima del Labrador è dovuto anche alla controcorrente polare che ne lambe le coste (paragrafo precedente) e che trasporta anche *ghiacci galleggianti*.

Maree. — Finora abbiamo considerato fenomeni terrestri che possono considerarsi come effetti diretti o indiretti della *energia radiante* del sole. Nel mare si verifica però un altro fenomeno, che è effetto di un'altra forma di energia emanante dal Sole e in grado ancora maggiore (più che doppio), in conseguenza della maggior vicinanza, dalla Luna : l'attrazione universale.

Sulla costa dell'Oceano si osserva generalmente che il livello del mare si alza e si abbassa due volte in un periodo che in media è di 24 ore e 50 minuti, cioè in un *giorno lunare*. Quest'intervallo di tempo è infatti precisamente quello che impiega la luna a compiere apparentemente un giro attorno alla Terra, periodo che è più lungo di un giorno, perchè, mentre la Terra compie un giro su

sè stessa (in quasi 24 ore), la Luna si muove attorno ad essa nel medesimo senso, e quindi la Terra deve girare ancora un pochino per mettersi nella stessa posizione relativa in cui si trovava il giorno prima. Questa oscillazione del mare dicesi *marea;* la dipendenza fra il suo periodo e il giorno lunare dimostra che la Luna ne è la causa principale. Vediamo come ciò si possa spiegare.

La Luna esercita la sua attrazione su tutti i punti della Terra, ma con intensità differente, perchè i punti più lontani sono attratti meno fortemente dei più vicini.

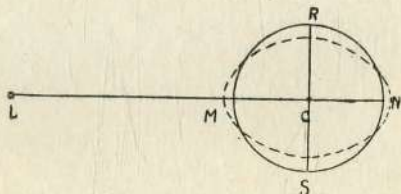



Fig. 13. — Deformazione di un globo liquido per l'attrazione della Luna.

Consideriamo, p. e., i punti M N estremi di quel diametro terrestre, che in un dato istante si trova diretto verso il centro L della Luna, e sia C il centro della terra (fig. 13). Il punto M più vicino a L è attratto più del centro C, il punto N più lontano meno del centro C. I punti C ed L sono mantenuti a distanza, variabile, dal movimento di cui sono dotati i due corpi, e noi che siamo trascinati con C non ci accorgiamo del suo movimento rispetto alla luna, ma ci accorgeremmo bensì degli spostamenti dei punti M ed N rispetto alla Terra, se i punti stessi fossero due masse mobili. Queste due masse si allontanerebbero ambedue dal centro, l'una perchè attratta di più, l'altra perchè attratta di meno. Ciò che si dice dei punti M ed N si può dire rispettivamente di tutti i punti dell'emisfero rivolto verso la luna, e di tutti i punti dell'emisfero opposto, solo che la differenza di attrazione da un punto al suo corrispondente sull'altro emisfero andrà diminuendo

man mano che ci allontaniamo da M e da N e ci avviciniamo al cerchio R S che divide i due emisferi.

Se la Terra fosse fluida essa si gonfierebbe nella direzione del diametro M N e si contrarrebbe lungo il cerchio R S ; da sfera, per dirla grossolanamente, si allungherebbe in uovo. E poichè essa ruota attorno al suo diametro, mentre quest'uovo tende a mantenersi diretto con una delle sue punte verso la Luna, i due rigonfiamenti girerebbero sulla superficie terrestre determinando *due* onde M, N nel periodo di un giorno lunare.

La Terra non è fluida, è solida, ma dotata tuttavia di un certo grado di cedevolezza alle forze deformatrici, e infatti si è constatato recentemente che la crosta superficiale presenta una doppia oscillazione diurna, una vera marea della crosta solida, della quale non ci accorgiamo perchè anche noi vi partecipiamo.

Ma molto più sensibile è la parte fluida che riveste il solido terrestre, aria ed acqua. E' certo che debbono verificarsi maree atmosferiche, ma, per la piccola densità dell'aria, esse non si rendono sensibili al barometro e si perdono nei movimenti molto più grandiosi della circolazione aerea. Invece le oscillazioni del mare, molto maggiori e più pronte di quelle della crosta solida, sono assai manifeste lungo la linea di separazione fra terra ed acqua, cioè lungo le coste. In alto mare non possiamo percepirle, perchè la nave che ci porta le segue, senza che noi ce ne accorgiamo.

Questo è il principio fondamentale con cui si spiega il fenomeno delle maree, le quali però si presentano come un fenomeno assai complesso e variabile da punto a punto. Tale complessità è dovuta al concorso di molte circostanze, ed è certamente una delle più grandi vittorie del pensiero umano quella di aver saputo sceverarle una dall'altra nei loro effetti, in modo da permettere quello che è il fine più alto di ogni scienza, la previsione dei fenomeni.

Anzitutto all'azione attrattiva della Luna si aggiunge quella del Sole, immensamente più lontano, ma immensamente più grande; azione che ha un periodo di 24 ore

(giorno) invece che di 24 ore e 50 minuti. Si comprende come la risultante di queste due azioni, non concordi e variabili colla posizione relativa degli astri, debba considerarsi come la sovrapposizione di più onde, onda diurna e semidiurna solare, diurna e semidiurna lunare, complicate dalla circostanza che i movimenti apparenti dei due astri attorno alla terra non sono circolari e uniformi ma in media ellittici e assai irregolari per influenze di attrazione reciproca fra essi e la terra, e gli altri corpi del sistema solare. In tanta complicazione, un fatto è evidente, che quando cioè la Luna e il Sole si trovano presso a poco sulla stessa linea col centro della Terra, ciò che si verifica nel Plenilunio e nella Luna Nuova, le loro attrazioni debbono dare la somma massima, mentre quando le direzioni dalla Terra alla Luna e al Sole sono presso a poco ad angolo retto, ciò che avviene nei Quarti di Luna o Quadrature, la risultante delle attrazioni sarà minima. E infatti le maree sono più forti nelle *sizigie* (Luna Piena e Luna Nuova) che nelle *quadrature* (Quarti). Un' altra irregolarità dipende dal fatto che il piano dell'orbita lunare apparente attorno alla Terra e quella dell'orbita apparente solare non coincidono, e ne deriva che le maree sono più forti nei periodi equinoziali (Marzo, Settembre) che nei solstiziali (Giugno, Dicembre), perchè nei primi le due azioni sono meno inclinate fra di loro.

Una complicazione intricatissima deriva poi dalla presenza dei continenti e dalle irregolarità del fondo del mare, per le quali l'oceano viene diviso come in bacini separati, per quanto comunicanti fra di loro. Per effetto di questa complicazione ogni bacino tende a formarsi una marea propria, mentre per le reciproche comunicazioni si influiscono uno sull' altro.

Finalmente dobbiamo tener presente il fatto che, quando una massa d'acqua ha ricevuto un impulso sotto l'azione di una forza esterna, tende a mantenere per inerzia il suo movimento anche quando la forza varia e anche si inverte, e che questo movimento è regolato dalla forma e profondità del bacino che la contiene. Ne deriva quindi che

gli effetti non sono contemporanei alle cause (massima o minima attrazione risultante degli astri) ma generalmente ritardati, e che i ritardi sono diversi da bacino a bacino, e si influiscono reciprocamente.

A tutte queste condizioni *necessarie* del fenomeno si aggiungono le perturbazioni dovute alle variazioni della pressione atmosferica, per le quali la superficie del mare si abbassa e si innalza in modo irregolare, e quelle dovute ai venti che spingono l'acqua verso la spiaggia, o dalla spiaggia, innalzando od abbassando la linea d'acqua.

Al formarsi e al ritirarsi dell'onda di marea corrisponde un'oscillazione dell'acqua oltre che in altezza anche in senso orizzontale, cioè due *correnti di marea* in senso opposto, che si alternano col periodo di poco più di sei ore. Queste correnti di marea sono particolarmente sensibili presso terra, specialmente lungo le spiaggie pianeggianti, dove la massa d'acqua va sempre più diminuendo verso terra, e quindi l'energia dell'onda di marea proveniente dall'alto mare si trasforma in energia di moto sempre più rapido. Così p. es. lungo le coste occidentali di Francia la marea sale con rapidità impressionante. In altre coste di roccia a picco, e specialmente entro golfi stretti e profondi l'alta marea può raggiungere anche venti e più metri sul livello di bassa marea. Nei canali di mare che separano le isole dal continente e fra loro, le correnti di marea possono diramarsi in direzioni molteplici, potendo ogni canale essere percorso da correnti provenienti da direzioni opposte. Così nel Canale della Manica si incontrano le maree dell'Atlantico con quelle del Mare del Nord.

SETTIMA LEZIONE

La circolazione delle acque continentali.

La distribuzione delle pioggie. — Abbiamo detto che la condensazione del vapore acqueo nell'atmosfera è determinata principalmente dai movimenti ascendenti dell' aria. Ne deve derivare, come necessaria conseguenza, che le pioggie saranno più frequenti e abbondanti dove sono più frequenti i moti verticali ascendenti. Nel capitolo sulla circolazione generale abbiamo visto che prima origine di questa è il movimento ascendente che si determina sulla zona equatoriale: dovrem quindi avere anzitutto una *zona equatoriale di massima piovosità.* Di una tale zona noi troviamo infatti le prove dall'America equatoriale attraverso l'Atlantico e l'Africa fino all'Oceano indiano e all'Arcipelago Asio-Australiano (Antille orientali): pel Pacifico si hanno dati troppo scarsi.

Movimenti ascendenti abbiamo constatato inoltre sulle aree di depressione, e poichè abbiamo visto che nelle medie ed alte latitudini i continenti diventano sede di depressione durante l'estate, dobbiamo concludere che nell'interno di essi si debbono avere *pioggie estive,* mentre d'inverno, dominando su di essi aree anticicloniche con moto discendente, si deve avere un periodo di siccità. E corrispondentemente poichè sugli oceani si estende l'area di depressione durante l'inverno, e l'area di alta pressione durante l'estate, si avranno *pioggie invernali* ed estate asciutto. Questa è infatti la distinzione caratteristica delle parti più interne dei continenti, e delle regioni di costa in immediata vicinanza cogli oceani, rispetto al *regime stagionale delle pioggie:* le prime hanno estate piovoso e inverno asciutto, le seconde inverno piovoso ed estate asciutto.

Le zone continentali intermedie fra le coste e l'interno, dove è facile il ricambio d'aria fra terra e mare, hanno un regime intermedio, cioè pioggie distribuite più uniformemente lungo l'anno, spesso con due massimi di piovosità in autunno e primavera. L'autunno infatti è la stagione di trapasso dall'estate all'inverno, durante la quale il centro di bassa pressione passa dalla terra al mare; la primavera è la stagione nella quale ritorna dal mare alla terra.

Queste leggi generali vengono complicate da un cumulo di cause accessorie; fra queste meritano speciale rilievo le seguenti, in quanto sono una nuova dimostrazione della dipendenza fra la pioggia e le correnti ascendenti.

a) *I cicloni.* Abbiamo già detto (pag. 69) che, in corrispondenza al moto ascendente, nell' interno e sul davanti di un ciclone vi è un'area di pioggia. In generale il *cattivo tempo* è conseguenza, almeno nelle nostre latitudini, del passaggio di un ciclone. La formazione dei cicloni non è soggetta a leggi determinate, o almeno conosciute: si può solo affermare che sono più frequenti d'inverno che d'estate, e più frequenti in determinate zone, e principalmente nella zona delle grandi correnti di ovest delle latitudini medie.

b) *Le catene montuose.* Se una corrente d'aria viene a battere contro un rilievo montuoso, è obbligata ad alzarsi lungo il versante battuto; quindi lungo questo versante si ha un movimento ascendente, che determina generalmente la pioggia. In conseguenza della grande circolazione aerea, le catene di monti che l'attraversano presenteranno quindi un versante e una zona anteriore dove la pioggia è frequente e abbondante; mentre sul lato opposto si avrà una zona asciutta, perchè le correnti superiori che hanno valicato il rilievo, hanno già abbandonato dall'altra parte la loro umidità. Questo fatto è particolarmente evidente sui due lati della grande catena americana delle Rocciose e delle Ande, che è lanciata attraverso le grandi correnti atmosferiche. Le correnti occidentali delle due zone temperate determinano due zone di grande piovosità lungo le coste della California a nord, del Chile meridionale e della

Patagonia a sud. Nella zona centrale dove dominano invece gli alisei, è il versante orientale delle Ande che presenta una regione di altissima piovosità, la quale alimenta fra altro i grandi bacini fluviali delle Amazzoni e dell'Orenoco. In generale la fig. 14 dimostra l'esistenza di zone molto piovose in corrispondenza alle zone montuose.

Fig. 14. — Distribuzione delle piogge

c) *I monsoni.* Lungo le coste meridionali dell'Asia e orientali d'Africa abbiamo visto che si alternano in due stagioni ben distinte i monsoni invernali provenienti dal continente, e quindi asciutti, e i monsoni estivi provenienti dal mare e quindi ricchi di umidità. Avremo quindi una stagione estiva di pioggie dovuta a questa circostanza (fig. 15).

Zone climatiche. — Con questi principii generali sulla distribuzione delle pioggie, combinati con quelli sulla distribuzione della temperatura e dei venti, possiamo darci ragione delle linee generali di distribuzione dei climi e della vegetazione sulla superficie del globo, cioè della formazione di *zone climatiche* distinte.

Abbiamo anzitutto una zona equatoriale ad alta temperatura e ad alta piovosità, favorevole quindi a un lussurioso sviluppo della vegetazione. E' la regione della *foresta tropicale*, che si estende a una larga zona dell'Africa e dell'America equatoriale, delle Antille orientali e dell'Indocina.

In perfetto contrasto con questa zona possiamo porre le *zone dei deserti*, dove la pioggia è così scarsa che non è possibile lo sviluppo di qualsiasi vegetazione, salvo quella di alcune specie adattate alla eccezionale siccità. La mancanza di pioggia, che è la condizione fondamentale del deserto, è dovuta all'isolamento della regione rispetto alle correnti *umide* dell'aria. Questa condizione si verifica quindi nelle regioni chiuse fra montagne, o nelle regioni dove prevalgono venti effluenti dalla terra verso il mare. Così tutti i bacini chiusi fra il ventaglio delle catene montuose dell'Asia, larghe estensioni dei continenti situati a sud della linea delle catene dai Pirenei all'Himalaya, che sono altipiani orlati da rilievi montuosi (Africa meridionale, Arabia, Persia, penisola indiana, Australia), e gli altipiani racchiusi nel fascio di catene che forma l'orlo occidentale delle due Americhe hanno carattere desertico, perchè i venti che arrivano ad essi scaricano la loro umidità sui versanti esterni delle catene. Il Sahara invece deve la natura desertica al predominio dei venti da terra, probabilmente attratti verso mare dall' aliseo di Nord-Est che domina l' attiguo Atlantico.

La condizione che determina il deserto, cioè l'isolamento dalle influenze oceaniche, ne definisce anche i caratteri prettamente *continentali* del clima: forte oscillazione diurna e, per i deserti più settentrionali, anche forte oscillazione annua della temperatura, prodotte dalla grande serenità del cielo che favorisce tanto la radiazione solare quanto l'irradiazione del suolo. I forti sbalzi di temperatura, che possono raggiungere i 70 e più gradi dal giorno alla notte, ai quali è sottoposta la roccia nuda di vegetazione, sottoponendola a forti e rapide dilatazioni e contrazioni, facilmente la spezzano. La mancanza o grande povertà di acque correnti, che nelle regioni più umide trasportano il materiale detritico, fa sì che questo materiale si accumuli in posto, e solo il vento ne trasporti gli elementi più minuti e leggeri, polveri e sabbie. Le prime possono essere trasportate a grande distanza, anche oltre i limiti del deserto, le seconde sono accumulate nelle parti più basse, o nelle

zone più esterne. Il vento foggia la superficie di queste sabbie, mobilissime perchè asciutte e perchè lisciate e arrotondate dal continuo rotolamento, come la superficie mobile del mare, a onde, a *dune*, le quali lentamente si muovono sotto la spinta del vento, che spinge la sabbia dal versante battuto del rilievo sabbioso sul versante opposto (fig. 15). Vi è quindi una continua trasmigrazione di sabbie che tendono a estendere la zona desertica, finchè raggiungono una regione abbastanza umida, perchè possa allignare una vegetazione, per quanto povera, che le fissa.

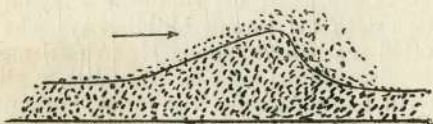



Fig. 15. — Processo di trasporto delle Dune.

Le zone desertiche che il vento spazza completamente dai detriti, salvo che dai più grossolani e pesanti, hanno un aspetto affatto diverso da quello dei deserti sabbiosi: nel Sahara le prime sono dette *Hammada* (si ricordi l'Hammada el Homra, hammada rossa della Tripolitania), i secondi *tserir*, *erg*.

Le polveri desertiche, trasportate dal vento fuori dal deserto, si depositano in una zona circostante al deserto, dove rimangono cementate dalla maggiore umidità, ma costituiscono coll'andar del tempo uno strato di molti metri di profondità, permeabile alla pioggia che penetra profondamente. Agli strati superficiali non rimane quindi umidità sufficiente per alimentare una vegetazione arborea; vi attecchiscono nella stagione piovosa solo le erbe, che disseccano nella stagione asciutta, con rare piante resistenti alla siccità. Abbiamo così una zona circumdesertica di *steppe*, di *praterie* più o meno ricche.

Oltre questa, crescendo l'abbondanza delle acque, abbiamo la *zona arborea o del bosco*, che sarebbe cioè, se abbandonata allo sviluppo naturale, e non impedita da con-

dizioni locali di clima o dalla distruzione degli animali e dell'uomo, occupata dal bosco.

Nel continente antico troviamo, a sud della zona desertica africo-asiatica, oltre la zona di steppe, la zona della foresta vergine tropicale; a nord tutta la zona dalla Spagna alla Siberia orientale, inclinata da sud-ovest a nord-est, lungo la quale la natura della vegetazione arborea va modificandosi col modificarsi del clima: dalla vegetazione adatta all'inverno mite del Mediterraneo, alla foresta della Siberia adatta agli inverni rigidissimi e avente quindi i caratteri della vegetazione di alta montagna. Nelle regioni polari, lungo le coste settentrionali dell'Asia e dell'America, il clima è così rigido da non permettere lo sviluppo di una ricca vegetazione arborea: si ritorna nella steppa, ma di carattere affatto diverso da quella circumdesertica, e che dicesi *tundra*.

Nel continente americano le zone si susseguono non più da sud a nord, ma da ovest ad est; ai deserti degli altipiani delle Rocciose e delle Ande, e della zona immediata a ovest di questi grandi rilievi, si passa verso est alle grandi praterie, per ritrovare lungo una zona verso l'Atlantico la foresta.

Queste non sono naturalmente che le linee più generali del quadro, che rappresenta le condizioni di clima, di vegetazione, e quindi di abitabilità, di ricchezza, e quindi di civiltà attuale o possibile delle varie regioni continentali. Noi vediamo che esse sono la conseguenza necessaria della distribuzione dell'energia solare ne' suoi effetti diretti, e nei suoi effetti indiretti, in quanto essa determina la circolazione dell'aria e del vapore acqueo sulla superficie del globo.

I fiumi. — L'acqua di pioggia e la rugiada e in generale l'acqua di condensazione che si deposita sul suolo, quando questo è più freddo dell'aria e l'aria è prossima a saturazione, in parte sono assorbite dal terreno, in parte evaporano, in parte finalmente scorrono sul terreno, se questo è inclinato, per gravità. Dalle creste e dalle vette dei rilievi (monti e colline) quest'acqua superficiale effluisce

lungo i versanti come un velo quasi uniforme che lava la superficie *(acque di dilavazione)*, ma poi, adattandosi alle ondulosità dei versanti stessi e agli ostacoli che incontra, si raccoglie ben presto in rigagnoli. Dove il versante è concavo, questi rigagnoli si incontrano, a due, a tre ecc. formando un corso d'acqua più copioso e più energico, che, erodendo il terreno sottostante, si scava un letto *(alveo)*, dove si raccolgono tutte le acque del bacino sovrastante

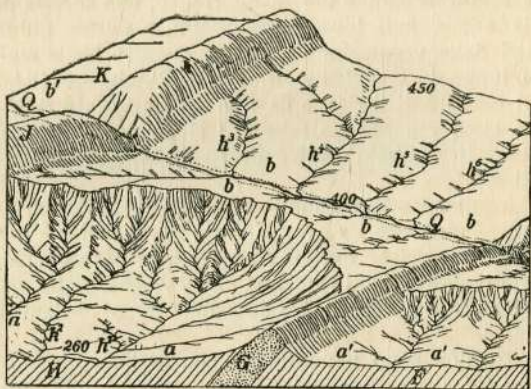



Fig. 16. — Bacini idrografici.
In basso a destra: **Primi rigagnoli delle acque di dilavazione. - *In basso a sinistra:* Circhi di torrenti. - *In alto:* Porzione di bacino idrografico.**

(bacino collettore). Così i versanti delle montagne ci appaiono incisi in alto da insenature concave a forma più o meno regolare, ma di solito a forma di mezzo imbuto *(circhi)*; più in basso da canali profondamente incisi, nei quali l'acqua precipita con grande violenza *(torrenti)*.

Torrenti che scendono da versanti opposti delle valli più alte si radunano in torrenti maggiori scorrenti in valli maggiori; e questi in torrenti ancor maggiori, e così via finchè tutte le acque raccolte in un sistema di bacini collettori

successivamente convergenti sboccano alla pianura in un corso d'acqua più copioso, più costante, più regolare nel suo deflusso: in un *fiume*. Più fiumi minori si raccolgono a lor volta in fiumi maggiori, che convogliano al mare le acque raccolte in estesa zona di monti, di colli e di piano *(bacino idrografico)* (fig. 16).

Sorgenti. — Queste acque non sono soltanto quelle che scorrono liberamente sulla superficie; anche una parte di quelle che sono assorbite dal terreno, dove questo è più poroso e permeabile, incontrando sotto terra strati più compatti e impermeabili e seguendone l'andamento, sono spesso ricondotte alla superficie, nelle *sorgenti*. Spesso vediamo emungere l'acqua in una fila di sorgenti o *resorgive* anche da terreno permeabile, quando questo sia imbevuto d'acqua fino a una certa altezza, al di sopra di uno strato impermeabile che la sostiene. Così scavando dei pozzi in terreno depositato dai fiumi (*alluvionale*) si incontra generalmente a una certa profondità l'acqua (*acqua freatica* o acqua di pozzo) che costituisce una superficie quasi continua, ondulata a seconda della natura del terreno, più alta dove il terreno è meno permeabile, più bassa dove è costituito da ghiaje e sabbie grossolane, nelle quali l'acqua defluisce più facilmente. Generalmente, dove il terreno alluvionale ha grande spessore, non una sola falda acquea ma più falde sovrapposte si incontrano lungo la stessa verticale, divise l'una dall'altra da strati impermeabili d'argilla o di sabbie finissime. Dove le falde successive tagliano la superficie del terreno, abbiamo linee successive di resorgive, alcune delle quali potranno essere anche, presso le spiaggie, al disotto del livello del mare, formando *sorgenti sottomarine*.

Talvolta la circolazione sotterranea avviene entro roccia compatta, ma frantumata *(fessurata)*, lungo le fessure, che l'acqua stessa allarga, perchè scioglie la roccia stessa: ciò avviene più facilmente nei *calcari* (rocce da calce), più facilmente solubili nell'acqua piovana, che contiene acido carbonico. Le sorgenti che sboccano da questi terreni fes-

surati hanno un carattere affatto distinto da quello delle sorgenti dei terreni alluvionali: esse escono da fessure, spesso ampliate in vaste grotte, che penetrano più o meno profondamente nella montagna, come corsi d'acqua già formati, talvolta come veri fiumi.

Le acque di pioggia che ritornano alla superficie come sorgenti, dopo un percorso sotterraneo, più o meno lungo e generalmente assai lento, arrivano ai fiumi con ritardo, e contribuiscono ad alimentarli in modo più continuo.

Nevi. — Un effetto analogo è portato dalla *precipitazione* (così si chiama la caduta del vapor acqueo dell'atmosfera in forma di acqua o di ghiaccio) in forma di neve. La neve, che precipita principalmente nei mesi invernali, non si scioglie che quando la stagione si riscalda. Così al principio di primavera si sciolgono le nevi più basse, di pianura e di collina; più tardi quelle delle montagne di media altezza, più tardi ancora quelle delle montagne più alte. Più ci innalziamo, più lungo è il periodo dell'anno in cui può verificarsi la precipitazione nevosa, perchè diminuisce la temperatura, e, se la montagna è molto alta, raggiungiamo una certa altezza oltre la quale può nevicare tutto l'anno. Questa neve si scioglie tutta o in parte; se si scioglie solo in parte, se cioè è maggiore la quantità di neve che si deposita sul terreno della quantità di neve che si scioglie nei mesi estivi, abbiamo le *nevi perpetue*, cioè il terreno sempre coperto di neve. Ciò si verifica solo al disopra di una certa altezza *(limite delle nevi perpetue)*, che è variabile a seconda della quantità di neve che precipita, ma sopratutto a seconda della temperatura. E' evidente infatti che quanto più alta è la temperatura tanto meno probabile è la formazione di neve, e tanto maggiore è la quantità di neve che si scioglie. All'equatore non avremo quindi neve che a grande altezza, e nevi perpetue solo sulla vetta di montagne altissime. Man mano che ci avviciniamo ai poli il limite delle nevi perpetue si abbassa, finchè nelle regioni polari esso può scendere al livello del mare. Così nelle Ande di Quito, all'equatore, il limite delle nevi per-

petue è a 4700 m. sul livello del mare, nelle Alpi occidentali (a 47 gradi di latitudine) è a 2750 m. circa, nella Terra di Francesco Giuseppe (a 82 gradi di latitudine) è fra 100 e 300 m.

Ghiacciai. — Non si deve credere però che l'acqua fissata nelle nevi perpetue sia sottratta alla circolazione generale. Le nevi, accumulandosi negli alti bacini montani si trasformano in ghiaccio compatto, ma di struttura granulare. Questa massa di ghiaccio non può però accumularsi indefinitamente, perchè scorre lentamente verso il basso. Il ghiaccio infatti, che in piccoli pezzi è un corpo fragile, ma molto *rigido,* cioè difficilmente deformabile, in grandi masse si comporta invece come un corpo plastico. In grandi masse esso è infatti soggetto a una forte pressione, corrispondente al proprio peso; la struttura granulare facilita lo scorrimento di un grano sull'altro; per una proprietà caratteristica del ghiaccio, che non è qui il caso di dimostrare, l'alta pressione facilita lo scioglimento del ghiaccio in acqua, che, penetrando fra grano e grano verso il basso, rigela, per tornare a fondersi e rigelare. Per tutto questo complesso di cause una grande massa di ghiaccio è *plastica,* si adatta cioè alle forze che agiscono su di essa, e in particolare alla gravità che, su un versante inclinato tende a spingerla verso il basso; essa quindi fluisce giù per le valli, come un fiume gelato. Così fluendo può varcare il limite delle nevi perpetue, scendendo anche di parecchie decine di chilometri, e per qualche migliaio di metri in altezza, al disotto di esso. E' vero che al disotto di esso si scioglie in un anno più ghiaccio che non precipiti neve, ma arriva però anche ghiaccio dall'alto a compensare lo sbilancio. Più scendiamo, più cresce la temperatura, segnatamente la temperatura estiva, e quindi cresce rapidamente la quantità di ghiaccio che si scioglie, finchè si arriva a un punto in cui tutto il ghiaccio formato dalla neve che precipita, e tutto il ghiaccio che fluisce dall'alto, viene disciolto. Qui finisce il *ghiacciajo,* poichè *ghiacciajo* dicesi una *massa di ghiaccio che si mantiene parte al disopra e*

parte al disotto della linea delle nevi perpetue; generalmente la parte al disotto è incastrata in una valle come un torrente che ha il suo circo di raccoglimento e il suo canale. Come in un torrente, o in un canale, l'acqua corre più rapidamente nel mezzo che presso le rive, e negli strati superficiali che sul fondo, perchè la superfice ruvida dell'alveo rallenta il moto delle particelle che scorrono lungo di essa; così in un ghiacciajo, per la stessa ragione. Il ghiacciajo è un vero fiume gelato, che scorre con una velocità piccolissima, di pochi centimetri al giorno, e che è consumato per scioglimento dopo pochi chilometri.

Il ghiacciajo è continuato dal torrente d'acqua che esso alimenta e che è perenne, benchè molto più abbondante nei mesi caldi, quando lo scioglimento del ghiaccio è più rapido, che non nei mesi freddi, e con questo processo anche le nevi, apparentemente perenni, fluiscono ai fiumi, contribuendo alla loro alimentazione, specialmente nei mesi caldi, quando l'evaporazione più intensa e la stagione spesso meno piovosa concorrono a diminuirne la portata.

Circolazione dell'acqua. — Così vedemmo come il vapor d'acqua evaporato dal mare sia portato in parte dai venti a condensarsi sulle terre, per ritornare in gran parte al mare per la via dei fiumi. E' specialmente questa circolazione che, unitamente a quella del calore, mantiene la vita sulla terra.

Vedemmo infatti che, dove questa circolazione è interrotta, nei bacini chiusi, si ha il deserto. Anche dai versanti di questi bacini chiusi scendono fiumi alimentati dalle pioggie che bagnano le loro cime, e dai ghiacciai che si stabiliscono nelle valli più alte. Ma poichè, come si è visto, tutto il detrito che questi fiumi trascinano s'accumula nelle conche più basse, e poichè l'estrema siccità del clima favorisce l'evaporazione, questi fiumi sono assorbiti dal suolo e dall'aria prima di arrivare al mare o ad altro fiume, spesso dopo breve tratto in pianura. Avviene talvolta che essi finiscono coll'espandersi in un lago, non potendo aprirsi un cammino tra le proprie alluvioni. E' un

lago senza fiume di uscita, senza emissario, il cui bilancio è mantenuto dalla evaporazione che, essendo estesa a un ampio specchio d'acqua, elimina una quantità d'acqua eguale a quella portata dal fiume. Ma l'evaporazione non elimina che acqua pura, distillata, mentre l'acqua del fiume contiene disciolta una quantità di sostanze, di sali, tolte alle rocce e ai terreni che ha attraversato. Questi sali quindi rimangono nel lago, e coll'andar del tempo vi si accumulano, rendendo il lago *salato:* perciò la grande maggioranza dei laghi desertici è di *laghi salsi.* Ma anche l'acqua, che è bevuta dalle alluvioni e che evapora subito, abbandona entro le sabbie e le ghiaie i sali che contiene: le sabbie desertiche sono quindi facilmente *salate,* e quindi assolutamente inadatte alla vegetazione.

Una funzione analoga deve attribuirsi alla circolazione generale dell' acqua nel mantenere, e forse accrescere, la salsedine del mare. Dal mare evapora acqua pura, i fiumi portano acqua contenente dei sali; molti di questi sono fissati dagli organismi animali e vegetali che popolano il mare, altri possono precipitare al fondo, ma alcuni, e in modo speciale il *cloruro di sodio* o sale comune, si ha ragione per credere che rimangano disciolti, e quindi in proporzione sempre crescente.

Il ritorno dell'acqua al mare per mezzo dei fiumi avviene con distribuzione assai irregolare: ne viene ricondotta molto più all' Oceano Atlantico, considerando in questo anche l'Oceano Artico che ne è il prolungamento, che non in tutto il resto dell'Oceano. Ciò risponde alla struttura orografica dei continenti, poichè quasi tutta l'acqua che piove sulle due Americhe si rovescia nell'Atlantico per la posizione occidentale del rilievo montuoso delle Roccriose e delle Ande; gran parte dell'acqua che cade sull'Europa e sull'Asia è riportata all'Atlantico per la posizione meridionale della serie di rilievi dai Pirenei all'orlo settentrionale del ventaglio di catene asiatiche; in tutti gli altri continenti, e nella zona racchiusa dal ventaglio stesso, predominano i bacini chiusi. Così si calcola che di tutte le superficie continentali il 51 per cento versano le loro

acque nell' Atlantico, il 22 per cento è rappresentato da bacini chiusi, e solo il 27 per cento versano le loro acque negli altri oceani, che pur rappresentano una massa d'acqua certamente molto maggiore di quella dell'Atlantico. Forse per questo la salsedine del Pacifico è alquanto minore di quella dell'Atlantico.

Secondo un calcolo molto grossolano tutti i fiumi della terra versano al mare 600.000 metri cubi d'acqua al secondo, mentre tutta l'area continentale ne riceverebbe per pioggia 3 milioni. Sembra quindi che solo la quinta parte del vapor d'acqua che i venti portano dal mare alla terra ritorni al mare, che dovrebbe prosciugarsi. Ma noi dobbiamo tener conto da un lato che si trascura in questo computo l'acqua che ritorna al mare per sorgenti sottomarine, e quella che, evaporata dalla terra, ritorna al mare in forma di pioggia; dall'altro lato che, nel computo della pioggia, una stessa quantità di vapore può figurare parecchie volte, poichè la pioggia caduta in un punto in parte rievapora e può ricadere in altro punto. E' certo che una parte dell'acqua viene assorbita e fissata dal terreno, e dalla vegetazione; ma è anche a ricordarsi che in parte il terreno ne restituisce nelle sorgenti termali e nelle emanazioni vulcaniche, e la vegetazione la restituisce tutta, per evaporazione durante la vita, per putrefazione e combustione dopo la morte.

OTTAVA LEZIONE

La circolazione delle rocce.

L'azione demolitrice del vento e dell'acqua. — Le tre circolazioni che abbiamo descritto nelle tre lezioni precedenti, non compiono soltanto la funzione di distribuzione sulla superficie del globo di calore e acqua, ma esercitano un'azione modellatrice e modificatrice, lenta ma assidua, della superficie stessa.

Si è già detto che le rocce asciutte, sotto l'azione alternata del riscaldamento diurno e del raffreddamento notturno si spezzano, si sgretolano, e che il vento esercita una azione selettiva sui prodotti di questa disgregazione, trasportando anche a grande distanza i più minuti (azione che dicesi *deflazione)*. Così carico di polvere e di sabbia, battendo sulle rocce, esso le *smeriglia,* le leviga, le corrode.

Nei paesi freddi e in alta montagna, dove l'acqua può gelare, l'umidità, che si condensa nelle piccole fessure delle rocce, gelando in esse, spezza la roccia, perchè l'acqua gelando si dilata.

L'acqua che penetra nelle rocce, carica di acido carbonico, che essa prende all'atmosfera, e talvolta di acidi più energici, come l'acido nitrico, che si sviluppa dall'azoto atmosferico sotto l'azione delle scariche elettriche, o gli acidi umici che scioglie dal terreno vegetale *(humus)* impregnato di prodotti di putrefazione, scioglie le rocce stesse quasi intieramente se si tratta di rocce omogenee come i calcari, o in alcuni dei loro elementi se si tratta di rocce composte da elementi diversi, quali più quali meno solubili, com'è delle rocce cristalline. Esempio tipico di queste è il *granito,* costituito da cristallini di quarzo, di mica e

di feldspati, fra i quali alcuni di questi sono più facilmente solubili. Lo sciogliersi di alcuni elementi rompe la compagine della pasta cristallina che perciò si sgretola.

L'acqua di pioggia che lava i versanti li eguaglia, ne asporta i materiali più leggeri, leviga le protuberanze. Se cade su terreno disgregato, lo imbeve, lo discioglie, provocando delle *frane di scoscendimento*, o lo incide profondamente in rigagnoli paralleli, separati da sottili rilievi, che rapidamente sono demoliti poi dagli agenti atmosferici (pioggie, gelo, vento, ecc.). Talvolta penetra in strati facilmente solubili, o che se ne imbevono, rammollendosi, cosicchè manca il sostegno agli strati sovrastanti, che crollano o scivolano sui pendii *(frane di scorrimento)*.

Ma è specialmente l'acqua corrente che scolpisce la faccia delle terre emerse. Dove essa corre velocemente, e ciò avviene specialmente fra le montagne, dove i pendii sono accentuati, essa erode, e approfondisce il suo alveo. Si può dire che *le valli sono, nella grandissima maggioranza dei casi, creazione dei fiumi che le percorrono.*

Se le acque correnti non avessero scavato le valli, i rilievi continentali si presenterebbero come dossi a profilo regolare, generalmente convesso, o tondeggiante, e la superficie dei continenti sarebbe analoga a quella del fondo degli oceani, dove prevalgono appunto le ampie ondulazioni a forma convessa. Ciò risponde, come vedremo, al processo di formazione dei rilievi stessi, che è per lenti ed ampi sollevamenti del suolo *(bradisismi)*. La pittoresca varietà dei paesaggi continentali è dovuta, quasi esclusivamente, alle acque che lo scolpirono, e che gli danno tuttora anima di movimento.

L'azione demolitrice dei ghiacciai. — A tale scoltura contribuiscono anche i ghiacciai, o meglio contribuirono in un'epoca anteriore all'attuale. Abbiamo visto che i ghiacciai si muovono; movendosi, per quanto lentamente, ma in grande massa, debbono adattarsi con grande resistenza all'alveo che li contiene, trascinano sul fondo blocchi rocciosi che, cadendo su di essi, si incorporano nella

massa glaciale. I ghiacciai esercitano perciò sul fondo e sui fianchi delle valli un forte attrito che tende ad ampliare le valli stesse, a levigarle, ad arrotondare le sporgenze, forse a scavare delle conche. Ora che i ghiacciai sono ridotti in dimensioni relativamente piccole, nelle regioni più elevate delle montagne, questa modellazione glaciale è certamente un fenomeno secondario: solo nelle regioni polari, nell'Antartide, nella Groenlandia, nell'Alaska, e in quei paesi alpini dove, per eccezionale abbondanza di precipitazioni nevose, i ghiacciai discendono fin quasi al mare, (p. es. Patagonia) essi possono considerarsi un fattore morfologico non trascurabile. Ma in un'epoca della Terra non molto remota, che si è chiusa poche decine di migliaia d'anni prima dell'êra presente, per condizioni speciali di clima, i ghiacciai avevano una estensione molto maggiore. I ghiacciai delle nostre Alpi scendevano in alcuni punti, come al di sotto dei grandi laghi, fino alla pianura, e sul versante settentrionale invadevano tutta la Svizzera e l'Austria meridionale. I ghiacciai della Scandinavia si fondevano in una grande calotta di ghiaccio che invadeva a occidente tutto il mare del Nord fino all'Inghilterra, a mezzogiorno gran parte della pianura germanica, a oriente il Baltico e la Finlandia. Così anche gli Stati Uniti e il Canadà erano sepolti in gran parte sotto il ghiaccio, e in tutto il globo i ghiacciai presentavano una estensione molto maggiore dell'attuale.

Questo fenomeno generale lasciò le sue tracce nella scoltura delle montagne e delle valli, specialmente là dove fu giù grandioso, come nella zona media dell'emisfero boreale. Noi ne vediamo le tracce nelle pareti lisciate, levigate di molte nostre valli, nella forma tondeggiante di molte vette non molto elevate che rimasero per molti secoli sotto l'azione levigante del flusso glaciale che le sommergeva, nella grande frequenza dei laghi entro le zone che furono invase dai ghiacciai, la cui origine viene attribuita naturalmente all'azione escavatrice di questi. Ma è specialmente nella forma delle valli che si manifesta il carattere della escavazione glaciale. Mentre nelle valli sca-

vate dai fiumi, e che si approfondano lungo la *linea* di movimento dell'acqua la sezione normale ha prevalentemente forma a V, convergendo i due versanti verso la linea stessa, nelle valli che subirono in epoca recente la escavazione glaciale le pareti sono più a picco, e il fondo più largo, cioè la sezione normale ha forma di U. Al di sopra dell'U la valle si allarga in due ripiani, o *terrazzi*, opposti, donde i torrenti affluenti precipitano a cascata lungo le pareti a picco.

I rilievi della crosta terrestre tendono a scomparire. — Col lungo processo dei secoli gli agenti atmosferici tendono ad abbassare, fin quasi a distruggerli, i rilievi che dividono valle da valle, a spianare i monti, trasformando le regioni alpine in piani ondulati *(penepiani)*. Così la pianura germanica e belga è un penepiano, risultante dalla demolizione di una catena montuosa, che esisteva anteriormente alla formazione delle Alpi.

L'azione erosiva del mare. — Anche il mare compie un lavoro assiduo di demolizione sulle coste dei continenti. Le correnti litoranee, e le correnti di marea che, specialmente nei canali ristretti, possono assumere una velocità rilevante, possono esercitare un'azione erosiva analoga a quella dei fiumi. Ma è al moto ondoso che deve attribuirsi l'azione più intensa ed assidua. Nelle spiaggie pianeggianti, dove l'onda ha modo di svolgersi liberamente, questa azione si limita a un trituramento progressivo delle sabbie, che vengono via via trasportate sul fondo del mare. Nelle spiaggie a picco *(balze*, ma si usa più comunemente il nome francese di *falaises)* l'onda viene a urtare con tutta la sua energia contro la parete rocciosa, scavando alla sua base una nicchia sempre più profonda, finchè la roccia sovrastante, cui viene a mancare il sostegno inferiore, crolla. La balza quindi si ritira, lasciando avanti a sè un gradino, o *piattaforma,* dove si accavallano i blocchi rocciosi rovinati dall'alto (fig. 17).

Questo processo di ritiro della parte emersa della costa

e di progressivo ampliamento della piattaforma continua fin dove possono arrivare le più forti mareggiate su una spiaggia ormai resa pianeggiante; più oltre si arresta. Se la regione costiera è però soggetta a un lento sprofondamento, per effetto del quale il livello del mare rispetto ad essa si innalza *(bradisismo positivo)*, il processo stesso può continuare per lungo periodo di secoli, arretrandosi la costa, non rispetto al mare che si avanza con essa, ma rispetto alla sua posizione primitiva, e formandosi una piattaforma

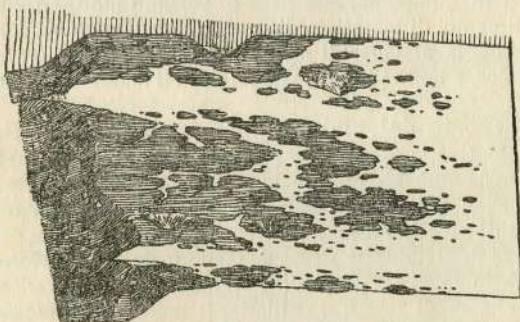



Fig. 17. — Costa alta che si ritira; piattaforma.

subacquea di larghissima estensione. La costa siberiana nell'Oceano Artico è preceduta da una piattaforma subacquea di centinaia di chilometri di larghezza. Che se invece la regione è soggetta a sollevamento, cosicchè la linea d'acqua si abbassa (*bradisismo negativo*), una piattaforma formatasi precedentemente rimane elevata fuori d'acqua formando un *terrazzo marino*. Molte coste, p. es. quelle di Norvegia, di Scozia, di Sicilia e di Sardegna sono orlate da vari ordini di siffatti terrazzi.

Depositi terrestri. — Tutto il materiale di disgregazione che, in tutti questi modi, viene strappato dalle rocce e dai terreni che costituiscono le varie forme delle terre emerse, deve necessariamente, dopo un percorso più o meno

lungo, depositarsi in altre parti della superficie terrestre. Il trasporto si compie per effetto o della gravità, o del vento, o delle acque correnti o dei ghiacciai. Per effetto della gravità i materiali che si distaccano dalle parti più elevate dei rilievi scivolano, rotolano lungo i versanti, finchè trovano una zona più bassa pianeggiante, o a pendìo non abbastanza accentuato, perchè la componente del peso lungo il versante possa vincere l'attrito tra i vari elementi del materiale stesso, o tra essi e il suolo. Così noi vediamo spesso in montagna, alla base di versanti molto ripidi, un rivestimento di materiale disgregato (*detrito di falda*) che si appoggia ai versanti stessi con una pendenza, o *scarpa*, più dolce, e tanto più dolce quanto più il materiale è minuto.

Trasporto dei materiali per opera dei venti. — Il vento trasporta gli elementi più minuti (polvere); ma se è forte può trasportare anche materiali più grossolani (sabbie), e se violentissimo può dare l'impulso al rotolamento di blocchi. Il materiale così trasportato si depositerà nelle regioni dove il vento è meno forte o vi è calma, e poichè in generale il vento è più forte negli strati superiori che negli inferiori dell'aria, il materiale di montagna sarà depositato alla pianura, o in mare. Una volta depositato, il materiale potrà essere fissato dal terreno, specialmente se questo è umido e ricoperto di vegetazione, ma se il terreno è asciutto, come è nei deserti e nelle steppe e assai spesso anche altrove nella stagione asciutta, nuove folate di vento potranno risollevarlo e trasportarlo più lontano. Specialmente le polveri più minute, e in particolare se sollevate negli strati superiori dell'aria, donde non possono cadere che assai lentamente, potranno percorrere in tal modo un cammino di migliaia di chilometri prima di fissarsi definitivamente sul suolo o in fondo al mare. E' noto come non sia infrequente nelle nostre regioni e anche nell'Europa centrale il fenomeno della pioggia di polveri rosse, che provengono dai deserti dell'Africa settentrionale. Fu calcolato che le polveri del Sahara trasportate nel 1863 alle Isole Canarie rappresentavano un

volume di 4 milioni di metri cubi. Si comprende perciò quanta importanza abbia nell'economia terrestre questo trasporto di materiale per effetto del vento (*deflazione*). Estese regioni, che rappresentano dalla sesta alla quinta parte dell' intiera superficie dei continenti, sono coperte di depositi di polveri trasportate dal vento *(depositi eolici)*.

Trasporto dei materiali per opera delle acque correnti. — Le acque correnti dotate di velocità sufficiente per erodere il fondo, rotolare il materiale più grossolano e mantenere in sospensione il più minuto, sono un altro dei principali vettori dei prodotti di disgregazione delle rocce da un punto all'altro. Quando esse sono obbligate a rallentare il loro moto, cessa o diminuisce la loro forza di trasporto, e il materiale viene abbandonato in gran parte. Ciò avviene, p. es., quando un torrente alpino sbocca dal suo canale in una valle più ampia a pendenza più dolce: perdendo di un colpo molta della sua energia, per la repentina diminuzione di velocità, abbandona allo sbocco del canale buona parte del materiale che esso trascina, il quale si dispone a ventaglio, a cono, col vertice allo sbocco *(conoide di dejezione)* (fig. 18). Lo stesso avviene generalmente dove un fiume più rapido sbocca in altro più lento, colla differenza che, essendo il materiale trasportato da un fiume via via più sottile, le conoidi di dejezione sono più piatte e più ampie.

Fig. 18. — Conoidi di dejezione.

Ne deriva che la valle principale va via via ricolmandosi delle alluvioni portate e deposte dal fiume che la percorre

e da tutti i suoi affluenti (fig. 18), entro le quali i fiumi stessi divagano, perchè essendo ormai dotati di moto assai lento, sono facilmente deviati dai cumuli di materiale depositati specialmente nei periodi di piena. Il loro percorso è quindi assai tortuoso *(meandri)*, e spesso mutevole, come è naturale, movendosi essi in alvei scavati in materiale mobile, e variando, coi periodi di piena e di magra, la loro energia d'urto contro le sponde. In queste continue divagazioni, e piene trasbordanti, e rotte dei loro argini naturali, essi finiscono coll'andar del tempo a distribuire la materia alluvionale in modo sempre più uniforme, e a creare una *pianura alluvionale.* L'opera dell'uomo interviene spesso a regolare questo andamento vagabondo dei fiumi, che dà origine a formazione di paludi e stagni, ed è un continuo pericolo per le abitazioni e le coltivazioni : ciò egli ottiene obbligando il fiume entro *argini* artificiali. Ma ciò facendo egli lo costringe anche a deporre le torbide entro l'alveo fissato, mentre in condizioni naturali le diffonderebbe su un'area immensamente maggiore. Il fondo dell'alveo quindi si eleva, e bisogna elevare gli argini per tener imprigionate le piene, e l'alveo continua perciò ad elevarsi per le dejezioni progressive, cosicchè in breve esso e tutto il fiume arginato risultano più alti della pianura *(fiumi pensili)*.

Se il fiume si espande in un lago, ivi perde gran parte della sua velocità e della sua energia di trasporto, e quindi abbandona quasi tutto il suo materiale di torbida : si purifica per decantazione, ma il lago coll'andar del tempo deve ricolmarsi. Sono assai frequenti nelle valli, dove queste si allargano, questi laghi ricolmati, estensioni cioè di terreno paludoso, o costituito da melme sottili, che sono *depositi lacustri.*

Trasporto dei materiali ad opera dei ghiacciai. — Finalmente, anche i ghiacciai trasportano il materiale che precipita su di essi, o che essi strappano all'alveo che li racchiude. Questo materiale o è trasportato dal moto superficiale (*morena superficiale*) o è trascinato sul fondo (*morena di fondo*). Quello superficiale si accumula in due cordoni

laterali, lungo i bordi, dove cade dai versanti sovrastanti della valle *(morene laterali)*, o, se due ghiacciai si fondono in uno possono costituire anche un cordone centrale *(morena centrale)* che è la fusione delle due morene laterali più vicine dei due ghiacciai primitivi. Man mano che le morene sono trasportate al basso verso la fronte del ghiacciaio, esse si arricchiscono di sempre nuovo materiale, e si estendono, fino a coprire quasi interamente la superficie. Sulla fronte il ghiaccio fonde, e quindi il materiale cade, unendosi alla morena di fondo; si accumula quindi la *morena frontale*, che chiude come un bastione di detrito la fronte del ghiacciaio. Se questo si avanza ricopre nuovamente la morena frontale, se si ritira la abbandona; e se il ritiro avviene non in modo continuo, ma a scatti, interrotto cioè da periodi di sosta, si forma una serie di bastioni concentrici, a forma di anfiteatro *(anfiteatro morenico)*. Queste caratteristiche formazioni di sedimenti glaciali assunsero una speciale importanza nell'*era glaciale*, quando nelle parti più basse delle valli, e anche in pianura, si accumularono imponenti depositi morenici, e anfiteatri. Esempio tipico è l'anfiteatro morenico che abbraccia l'estremo del Lago di Garda. I materiali di questi depositi furono poi in gran parte disseminati dalle acque su larghe estensioni di valli e di pianure *(depositi fluvio-glaciali)*.

Sedimenti marini. — I fiumi, arrivando al mare, vi trasportano una massa ancor rilevante di materiale solido sottile, che li intorbida. Quando l'acqua del fiume si mescola coll'acqua salsa del mare, le torbide precipitano rapidamente. E' infatti provato che in acqua salsa i materiali sospesi precipitano molto più rapidamente che in acqua dolce, cosicchè se p. es. intorbidiamo dell'acqua dolce con argilla minutissima, essa impiega intiere giornate per purificarsi, mentre in acqua salsa la purificazione avviene in poche ore.

Ne deriva che il materiale solido trasportato dai fiumi nel mare si deposita sul fondo di questo in una zona re-

lativamente ristretta, al più di qualche centinaio di chilometri, e che sarebbe ancor minore se la fanghiglia così precipitata non scivolasse poi lungo il pendìo della costa sommersa, o non fosse spinta più al largo da correnti sottomarine e dall'oscillazione prodotta sul fondo anche a profondità sensibile dal moto ondoso superficiale. Se la costa scende a pendìo dolce dalla spiaggia verso il largo, e se le condizioni di movimento del mare (marea, onde, correnti) lo permettono, il fondo del mare si innalza rapidamente presso la foce, per ricolmamento, fino ad emergere dall'acqua. La spiaggia cioè si avanza nel mare, e il fiume si allunga in un lembo o in una striscia di terra che si prolunga nel mare stesso formando promontorio. Spesso il fiume non arriva al mare con una bocca sola, ma già a distanza da esso si divide in rami divergenti formanti ventaglio, che dalla forma della lettera *d* greca dicesi *delta;* nel delta intendonsi comprese anche le sporgenze sedimentali prolungantesi sul mare in corrispondenza alle varie foci e che si fondono generalmente in un solo ampio promontorio.

Il moto ondoso risospinge spesso verso riva le sabbie e le fanghiglie portate dai fiumi, ma il movimento di ritorno dell'onda dalla spiaggia al mare, il quale è sempre generalmente molto più rapido (chiunque sia stato sulla spiaggia del mare avrà sperimentato la forza del *risucchio,* pel quale sembra che l'acqua sia succhiata dal mare) mantiene questo materiale a qualche distanza dalla spiaggia. Si forma perciò in mare un rilievo di fondo, una *barra costiera,* specialmente alla foce dei fiumi *(barra di foce)* dove è la corrente stessa del fiume che contrasta l'apporto di materiale di fondo verso la riva. Talvolta queste barre si elevano tanto da affiorare sull'acqua, e allora la vegetazione che vi alligna le fissa, e si forma una striscia di terra, parallela alla spiaggia, che spesso si attacca alle sporgenze di questa, chiudendo dei lembi costieri di mare *(lagune).*

Più al largo, dove il mare è più profondo, si depositano i materiali più leggeri d'origine terrestre *(sedimenti terri-*

geni) mescolati a materiali d'origine organica, in proporzione però secondaria. Più al largo ancora, oltre una zona di larghezza variabile, ma di poche centinaia di chilometri, non arrivano che le polveri portate dal vento, o le polveri meteoriche, e allora diventa prevalente la proporzione di materiali organici. Sono questi gusci e scheletri di organismi, specialmente animali, e specialmente di organismi microscopici (foraminiferi, radiolarie, ecc.) che fissano le sostanze silicee e calcari che i fiumi portano al mare e che in questo, con determinate trasformazioni, si disciolgono. Estese zone di fondo di mare, al di là dei sedimenti terrigeni, sono ricoperte da fanghiglie costituite predominantemente da gusci calcarî di foraminiferi, fra cui abbondante la specie *globigerina (fanghiglie a globigerina):* in altre parti, specialmente nelle fosse profonde, predominano invece gli elementi silicei, frammenti di spugne, alghe microscopiche, ma specialmente *radiolarie (fanghiglie a radiolarie)*. Ma rimangono sempre estese regioni di mare, p. es. la maggior parte del Pacifico, dove questi sedimenti organici rappresentano la parte secondaria delle fanghiglie di fondo, che sono costituite da polveri meteoriche e da sedimenti eolici (polveri vulcaniche, desertiche ecc.), formanti un' argilla tenuissima di color rosso *(argille rosse)*.

Mutabilità dei continenti e dei mari. — Così noi vediamo che per effetto del calore e della circolazione dell'aria e dell'acqua, i rilievi continentali e insulari sono assiduamente assoggettati a un lavoro di demolizione, e che i prodotti di questa demolizione sono distribuiti sulle zone più basse, e in particolare sul fondo dei mari. Qui costituiscono dei *sedimenti* che, col succedersi dei secoli, possono assumere una potenza rilevante, e ciò specialmente nei bacini continentali chiusi e nella zona costiera del mare. Questi sedimenti hanno caratteri differenti, secondo il loro modo di formazione. Così potremo distinguere i sedimenti *terrigeni,* costituiti da elementi eterogenei, da frammenti di rocce non solubili nell'acqua e quindi prevalentemente silicei; sedimenti *calcarî,* formati dalle fanghiglie a glo-

bigerina, o dai coralli; sedimenti *silicei* a radiolarie, o a diatomee (alghe microscopiche), per citare solo i più estesi e caratteristici.

Ora si osserva che anche le rocce costituenti attualmente la superficie dei continenti, sulla maggior parte della loro estensione, presentano dei caratteri molto affini a quelli degli attuali sedimenti marini. Così abbiamo le *brecce* costituite da frammenti più o meno grossolani di rocce diverse cementati fra loro; le *arenarie* che rappresentano sabbie indurite; le rocce *calcarî* che al microscopio dimostrano la loro origine organica, perchè costituite da frammenti o da intiere formazioni di coralli, o da gusci di globigerine e di altri organismi marini; rocce silicee *(selci)* spesso costituite da gusci di radiolarie; e altre rocce che hanno il loro contrapposto in termini di una classificazione più minuta dei sedimenti marini. L'origine sedimentare di queste rocce sarebbe poi dimostrata dai *fossili* che esse includono: impronte o petrificazioni di animali marini, che rappresentano in serie progressive le antiche genealogie delle specie marine attuali, o specie estinte in antichi periodi della storia della Terra.

Dunque gran parte delle terre attuali sono formate da antichi sedimenti marini; furono cioè in passato i fondi di oceano anche profondo. E tutto porta a ritenere che anche estese aree ora occupate dal mare furono in un passato più o meno remoto occupate da terre, che si inabissarono sotto l'acqua.

La conservazione della forma della Terra. — Nonostante queste continue oscillazioni della crosta terrestre, nonostante la continua demolizione dei rilievi continentali, e il continuo accumularsi dei detriti di questa demolizione, sulle pianure, nei bacini chiusi, sui fondi dei mari e particolarmente in una zona dell'ampiezza di poche centinaia di chilometri lungo l'orlo dei continenti, la Terra conserva la sua forma.

Cosa si intende per forma della Terra? Non l'aspetto continuamente mutevole della sua superficie, lavorata in

dettagli di bacini oceanici e di massicci continentali, di monti, di valli e di piani, dettagli così minuti relativamente alle dimensioni del corpo terrestre, che proporzionatamente sono molto più accentuate le rugosità della buccia di un arancio. E' la forma d'assieme, quale la si abbraccerebbe guardandola a distanza, se noi ci trovassimo per esempio sul pianeta Marte. Ora questa forma è quella di una sfera leggermente schiacciata ai poli *(sferoide* o *ellissoide di rivoluzione).* Buona parte di questa superficie è costituita dalla superficie del mare, la quale se si prescinde dai suoi piccoli movimenti (onde, maree, oscillazioni dovute a variazioni di pressione e di vento) è una superficie liscia, regolare, che in ogni punto è orizzontale, cioè perpendicolare alla direzione del *filo a piombo;* è noto infatti che per *livellare* si adopera una superficie liquida, appunto perchè è orizzontale. L'occhio che da lontano contemplasse la Terra naturalmente continuerebbe questa superficie anche negli spazi, assai minori, occupati dalle terre emerse, i cui rilievi scomparirebbero, come schiacciati sulla superficie d'assieme. Anche idealmente noi possiamo continuare la superficie del mare sulle aree occupate dai continenti, immaginando che in ogni punto la superficie marina così prolungata abbia la proprietà di essere orizzontale, cioè perpendicolare alla direzione del filo a piombo. E' questa superficie ideale che si è convenuto di chiamare *superficie terrestre* o *Geoide.* E' il Geoide che ha attualmente, e ha conservato nei lunghi periodi della storia della Terra, che si contano certamente a centinaia di milioni d'anni, una forma quasi costante, sempre assai prossima a quella di sfera leggermente schiacciata ai poli.

Sappiamo che la Terra, alla sua origine, fu allo stato fluido, e sappiamo che una massa fluida, che ruoti, come ruota la Terra, lentamente (un giro in 24 ore) attorno a un suo asse, assume la forma di sferoide. Dunque la Terra, nonostante tutte le mutazioni che subisce continuamente per il trasporto di materiali sulla sua superficie, che è l'effetto di quelle azioni esterne che sono mantenute dall'energia solare, *mantiene la sua forma primitiva.*

I movimenti interni della Terra. — Ciò non può spiegarsi se non ammettendo che ai movimenti superficiali corrispondano dei movimenti negli strati più profondi, che compensino i primi: pei quali cioè la direzione del filo a piombo non cambi sensibilmente in un dato punto della superficie, nonostante che sotto di esso e attorno ad esso si accumuli o si distrugga continuamente della massa materiale. Se tali movimenti profondi non si verificassero, il

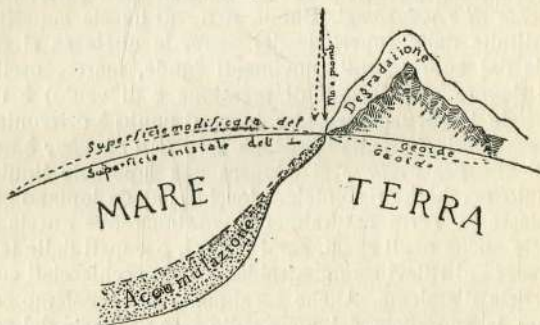



Fig. 19. — Progressiva deformazione del Geoide, se non si verificassero i bradisismi compensatori.

filo a piombo devierebbe continuamente dalle zone da cui viene demolita della roccia, verso le zone su cui si accumulano i detriti di tale demolizione, perchè questi attrarrebbero sempre di più verso di essi il piombo del filo (fig. 19). Perchè ciò non avvenga è necessario che, nello stesso tempo che il materiale si accumula, si allontani dal punto della superficie dove si trova il filo a piombo, cioè si sprofondi o scorra lateralmente verso le zone laterali; e che, nello stesso tempo che in altra parte della Terra il materiale superficiale viene asportato, altro materiale arrivi negli strati profondi a esercitare una attrazione di compenso, cosicchè la superficie terrestre, che si abbassa per la demolizione, nello stesso tempo si sollevi per *bradisismo*.

Queste conclusioni sono necessariamente vere nelle linee generali: il dettaglio dei fenomeni dev'essere assai complesso, e il compenso fra le azioni superficiali e le profonde non mai perfetto, nè immediato. Da ciò deriva che il *Geoide* non è uno sferoide perfetto, ma solo molto approssimato.

L'energia solare mantiene in vita la Terra. — Ammettendo le conclusioni stesse con questa restrizione, noi siamo condotti a figurarci una *circolazione delle rocce*, analoga a quella dell'aria e delle acque, e che è prodotta da queste, e mantenuta quindi anch'essa indirettamente dalla energia solare. Se cessasse l'alimentazione di questa energia dal Sole, cesserebbe la circolazione atmosferica, cesserebbero le trasformazioni e la circolazione dell'acqua, cesserebbe cioè la demolizione e il trasporto delle rocce, e i movimenti profondi che ne conseguono.

Alla Terra non rimarrebbero che le attività interne, dovute alla somma di calore e di energia accumulatesi nei lunghi periodi della sua formazione e della sua evoluzione, e che si manifestano anche attualmente nei fenomeni vulcanici, e nel fenomeno più generale dell'aumento progressivo della temperatura dalla superficie verso gli strati profondi. Ma esse non basterebbero a dare una vita alla Terra, come i fenomeni chimici che si sviluppano in un cadavere per lo svolgersi delle energie chimiche accumulatesi durante la vita non definiscono una nuova vita. Come si disse al principio, la vita è ricambio coll'ambiente, e nel corso della nostra trattazione abbiamo constatato che *tutti* i fenomeni che si svolgono sulla superficie della Terra sono mantenuti dal ricambio di energia col Sole, e collo spazio esterno.

INDICE

Lezione I. — *L'ambiente della Terra.*

Lo spazio . . . . Pag. 3
Astri e meteoriti . . . . » 4
L'Etere cosmico . . . . » 4
Propagazione dell'energia . . . . » 5
Energia emessa dal Sole . . . . » 6
Raggi ionizzanti . . . . » 6
Pressione della luce . . . . » 7
Raggi catodici . . . . » 7
Intensità della radiazione ricevuta dalla superficie terrestre sotto varia inclinazione . . . . » 7
Giorno e notte . . . . » 8
Effetti della rotazione della terra intorno al Sole: durata del giorno e della notte a varie latitudini e nelle varie posizioni della terra sulla sua orbita » 9
Le stagioni astronomiche . . . . » 11
Distribuzione dell' energia solare ricevuta dalla terra nelle varie stagioni . . . . » 11
Irradiazione notturna . . . . » 12
Calore oscuro . . . . » 12
Equilibrio dell'energia ricevuta e dell'energia irradiata » 13

Lezione II. — *L'atmosfera.*

L'aria . . . . » 14
Il vapore acqueo. Evaporazione . . . . . . » 15
Condensazione . . . . » 15
Saturazione . . . . » 16
Circolazione dell'acqua . . . . » 16
Il vapore acqueo è un agente distributore del calore » 17
Il pulviscolo atmosferico, la nebbia, le nubi, la pioggia, la neve . . . . » 17
Acquazzoni, grandine, rugiada, brina . . . . » 18
Diffusione dell'energia solare nell'atmosfera . . » 19
I colori del cielo . . . . » 20
Luce e calore diffusi . . . . » 21
Assorbimento dell'energia solare nell'atmosfera . . » 21
Il potere assorbente dei vapori atmosferici . . . » 22
La radiazione solare non arriva tutta alla Terra . » 23
Assorbimento delle radiazioni terrestri . . . . » 24
L'atmosfera arresta l'irradiazione terrestre . . . » 24

Lezione III. — *Terra e Acqua.*

Continenti e Oceani . . . . » 26
Linee fondamentali del rilievo continentale . . . » 27
Sistemi di monti . . . . » 28
Riscaldamento delle terre e dei mari . . . . . » 29

Raffreddamento delle terre e dei mari . . . . Pag. 31
Distribuzione della temperatura sulla superficie del globo . . . . » 32
L'azione temperatrice dei mari . . . . . . » 33
Le linee isoterme . . . . » 34
Irregolarità delle isoterme . . . . » 36
Differenze di temperatura fra terra e mare, su uno stesso parallelo . . . . » 37

Lezione IV. — *Termodinamica dell'Atmosfera.*

Trasformazione di energia nell' atmosfera . . . » 39
Distribuzione verticale della temperatura . . . » 41
Pressione atmosferica . . . . » 45
Densità dell'aria . . . . » 46
La legge caratteristica dei gas . . . . . . » 47
Movimenti convettivi . . . . » 48
Distribuzione convettiva della temperatura nella troposfera . . . . » 52
Strati di salto . . . . » 55
Troposfera e stratosfera . . . . » 57

Lezione V. — *La circolazione dell'atmosfera.*

Effetto della rotazione terrestre . . . . . . » 58
Leggi del movimento dell'aria . . . . » 60
Rotazione ciclonica e anticiclonica . . . . . . » 61
Circolazione generale dell' atmosfera . . . . . » 61
Movimenti nella stratosfera . . . . » 64
Distribuzione della pressione . . . . » 65
Influenza dei continenti . . . . » 67
Cicloni e anticicloni . . . . » 69
Influenza della circolazione aerea sulla distribuzione della temperatura . . . . » 72

Lezione VI. — *La circolazione del mare.*

Pressione e condizioni di movimento . . . . . » 74
Salsedine e temperatura del mare . . . . . . » 75
Correnti . . . . » 78
Influenza delle correnti sulla distribuzione della temperatura . . . . » 81
Maree . . . . » 81

Lezione VII. — *La circolazione delle acque continentali.*

La distribuzione delle pioggie . . . . » 86
Zone climatiche . . . . » 88
I fiumi . . . . » 91
Sorgenti . . . . » 93
Nevi . . . . » 94
Ghiacciai . . . . » 95
Circolazione dell'acqua . . . . » 96

Lezione VIII. — *La circolazione delle rocce.*

L'azione demolitrice del vento e dell'acqua . . . Pag. 99
L'azione demolitrice dei ghiacciai . . . . . . » 100
I rilievi della crosta terrestre tendono a scomparire . » 102
L'azione erosiva del mare . . . . » 102
Depositi terrestri . . . . » 103
Trasporto dei materiali per opera dei venti . . . » 104
Trasporto dei materiali per opera delle acque correnti » 105
Trasporto dei materiali ad opera dei ghiacciai . . » 106
Sedimenti marini. . . . . » 107
Mutabilità dei continenti e dei mari . . . . . » 109
La conservazione della forma della Terra . . . . » 110
I movimenti interni della Terra . . . . . . » 112
L'energia solare mantiene in vita la Terra . . . » 113

BIBLIOGRAFIA

di alcuni volumetti usciti in questa " collana ,, di volgarizzazione scientifica .. ..

BERTARELLI prof. ERNESTO. — **Igiene sociale.** — *L. 0.90, legato.*

Primo volume della « Collezione rossa » di volgarizzazione scientifica, dovuta all'iniziativa disinteressata della Federazione Ital. delle Bibl. Popol. e della Università Popolare Milanese. Nessuno meglio e con maggior comunicativa del B. poteva spiegare al popolo l'origine, i pericoli e i rimedi dei contagi sociali, di cui — purtroppo! — l'Italia non è ancora immune. Dal volume breve e limpido emana una forza di persuasione e di suggestione, che si convertirà in incalcolabili benefici per la pubblica salute, se il libro — di cui si è esaurita una prima copiosa edizione — continuerà a diffondersi largamente. Esso, come tutti i volumi di questa collezione, può offrire una traccia mirabile per lo svolgimento di un efficacissimo corso d'insegnamento.

BONETTI dott. PAOLO. — **Macchine e salari.** — *L. 0.90, legato.*

Spiega con ordine e chiarezza gli effetti della introduzione delle macchine nella produzione e i contraccolpi che ne risentono i salari dei lavoratori, riuscendo a convincere che la macchina non è, in definitiva, quella terribile e temibile nemica del lavoro manuale che da molti si crede, e che, di fronte alle crisi transitorie da essa prodotte, l'aumento generale della ricchezza, che essa genera, compensa alla lunga e in abbondanza i sacrifici sostenuti dagli operai nella prima ora.

COLETTI prof. FRANCESCO. — **Il rincaro dei viveri.** — *L. 0.90, legato.*

Il libro non ha bisogno di lodi, dopo quelle che gli tributò l'Einaudi sulla « Riforma Sociale ». Il caro della vita, che a molti, a troppi, sembra come un misterioso destino sociale gravante ognor più sulla modesta economia famigliare della gente umile e media, e, quindi, è sopportato come si sopporta una oscura fatalità, contro la quale sia inutile reagire, è qui analizzato nelle sue cause, nelle sue vicende e ne' suoi rimedi, inseguito in mezzo al complicato groviglio dei fatti economici, denudato da gli elementi che lo sottraggono alla vista dei profani, e messo al cimento con la reazione che su di esso può esercitare il consumatore isolato e associato, ma cosciente sempre delle leggi regolatrici della produzione e degli scambi. Il volumetto appartiene alla serie « Questioni di attualità », ma bisogna convenire che la materia di cui si occupa — il rincaro della vita — pur troppo è difficile che sia per passar di moda troppo presto.

MICHIELI prof. AUGUSTO. — **L'America del Sud.** — *L. 1.50, illustrato e legato.*

L'A. narra in questo volumetto la storia della scoperta, delle prime esplorazioni e della rovinosa dominazione spagnuola in quelle plaghe, ov'erano segni di mirabili civiltà estinte; segue le vicende delle diverse contrade fino ai nostri giorni, ne studia la struttura fisica, il governo, la economia, i costumi della popolazione, i progressi degli ultimi anni, e infine si indugia a considerarne le condizioni in rapporto al fenomeno della emigrazione italiana che là si dirige.

Libro di mirabile chiarezza, sommamente utile ad avvicinare al popolo una materia di tanto interesse per tutti.

GOBBI Prof. Ulisse. — **Elementi di Economia Politica.** — *L. 0,90 leg.*

L'illustre economista ha inteso, con questo volumetto, iniziare i lettor alla conoscenza dei problemi relativi alla produzione, alla distribuzione dell ricchezza e a tutto quell'insieme di fatti e di rapporti economici, sui quali si fonda la vita delle nazioni. Il danaro e gli scambi, il capitale e il lavoro, il prodotto e l'accumulazione, il salario e il profitto, l'azienda privata e la pubblica, tutte le intime leggi che governano il mondo economico con lo stesso rigore col quale altre leggi presiedono alla vita degli organismi fisici, sono qui rivelate con sobrietà e lucidezza degne de' più noti volgarizzatori inglesi e francesi. Nelle moderne democrazie, in cui ogni individuo esercita ormai una parte del potere pubblico, lo studio dell'Economia politica deve esser considerato essenziale alla formazione del cittadino; e per tanto merita lode incondizionata questo svelto e arguto libretto di U. Gobbi. che dell'economia politica ha saputo far materia di coltura popolare.

TAJANI ing. prof. Filippo. — **Le Ferrovie.** — *L. 0.90, legato.*

L'A., docente al Politecnico di Milano, ha narrato in questo volumetto, col più semplice e affascinante linguaggio, la storia della locomozione ferroviaria, risalendo ai primi tentativi e seguendone i meravigliosi progressi; ha spiegato come è costruita e come funzioni la macchina; ha condotto i lettor, attoniti attraverso quel vario e vasto insieme di cose, di forze e di ordinamentii che è per i paesi civili quel che la circolazione del sangue è per i corpi vivi. Singolare è il modo con cui questo uomo di scienza, abituato a cimentars. con gli ardui problemi della tecnica, riesce a insegnare tante cose dilettandoi
Il libro si ebbe le più alte lodi in un discorso pubblico dell'on. Luzzatti.

CALZECCHI prof. Temistocle. — **I liquidi e i gas.** — *L. 1.50, illustrato e legato*

E' illustrato da 90 figure, ciascuna delle quali aiuta a spiegare elementarmente e praticamente un fenomeno o una legge fisica dei liquidi e dei gas. La quasi prodigiosa chiarezza e semplicità con cui la materia vi è svolta, rende il libro accessibile anche a i più incolti e la relativa ampiezza, con la quale vi è trattata questa parte interessantissima della fisica, fa del volume un ausilio prezioso ai troppo astrusi testi scolastici. Ogni dimostrazione è ottenuta con un esperimento minutamente descritto; per cui sembra di studiare non leggendo parole stampate, ma assistendo a una serie di interessantissime esperienze di gabinetto, accompagnate dalla viva voce del maestro.

SUPINO prof. ing. Giorgio. — **Motori a combustione interna.** — *L. 1.50, illustrato e legato.*

Anche questo volume appartiene alla « Collana rossa » di volgarizzazione scientifica: il primo tentativo serio fatto in Italia, con la collaborazione di uomini veramente insigni nelle diverse discipline che devono spiegare al popolo. Il Supino, professore al Politecnico di Milano, con questo volumetto opportunamente illustrato, si è proposto ed è riuscito a svelare anche a un profano il delicato mistero di quei complicati congegni, che impropriamente si dicono motori a scoppio e che in un minimo di volume e di peso, alimentandosi delle emanazioni gassose di combustibili per lo più liquidi, danno impulso e moto ai nuovissimi mezzi di locomozione, come l'automobile e l'areoplano. Veramente mirabile l'arte con cui chiunque legga è condotto a darsi ragione d ogni minimo particolare di questi meccanismi e della funzione utile che ciascuno compie nell'economia dell'insieme.

BARBAGELATA ing. prof. Angelo. — **L'Illuminazione.** — *L. 0.90, illustrato e legato.*

Quando camminiamo di notte, tranquilli e sicuri, sotto il diffuso chiarore delle lampade elettriche, che illuminano le vie della città, non pensiamo alla lunga e lenta vicenda di scoperte scientifiche, di esperienze e di lotte, e traverso le quali, dalla luce rossastra e fumosa delle prime torcie, si è giunti

alla bianca e riposata luce dell'elettricità. Leggendo questo volumetto, scritto con limpida vena da un tecnico che rivela le qualità di un volgarizzatore di razza, l'illuminazione e le sue fasi successive, la sua tecnica e la sua economia ci si spiegano e si fissano nello schermo della memoria con tale evidente chiarezza, che maggiore non si potrebbe desiderare. Può leggerlo con eguale utilità chiunque non voglia vivere, ignorandoli, in mezzo a cose e a congegni essenziali alla vita, e chi deve iniziarsi all'esercizio di una specifica attività professionale.

MONDOLFO prof. Ugo Guido. — **La Rivoluzione Francese.** — *L. 1.50, illustrato e legato.*

E' un vero gioiello, accuratissimo nella sostanza e nella veste esteriore, abbondantemente illustrato colle scene culminanti della Rivoluzione e coi ritratti de' suoi più grandi protagonisti, riprodotti da immagini del tempo.

La Rivoluzione Francese di U. G. Mondolfo è di gran lunga la più ordinata, la più chiara, completa e organica — nella sua nervosa brevità — esposizione di fatti e di idee-forze che determinarono e attuarono il più grande rivolgimento subìto dalla storia degli uomini. Francamente, ripensando ai molti riassunti che vanno in giro per l'Italia con la pretesa di chiarire al popolo le ragioni e gli eventi della Rivoluzione, ne vediamo al confronto tutta la insufficienza. Nel libro del Mondolfo, pur così piccolo di mole, non v'è soltanto l'ordinata narrazione dei fatti essenziali; ma gli intimi nessi vi sono còlti e posti nella debita luce, e i motivi profondi sono interpretati con acutezza e rigore logico. Il fattore economico della Rivoluzione non è mai perduto di vista: non soverchia gli elementi personali e ideali della tragedia, ma li integra e li illumina; e tutta l'esposizione ne acquista una vivace forza persuasiva, che fa esclamare: Ora capisco; ora vedo come e perchè i fatti si svolsero così e non altrimenti!

Il libro del Mondolfo va oltre lo scopo modesto della collana a cui appartiene, pur rimanendo opera di semplice, piana, elementare volgarizzazione. Nulla lo storico ha sacrificato del suo pensiero per rendersi accessibile ai lettori di scarsa cultura; eppure è riuscito di una chiarezza cristallina e di una semplicità suadente, in cui non potrebbe smarrirsi neppure la mentalità d'un fanciullo.

Perciò specialmente il piccolo libro di U. G. Mondolfo è destinato a una vera e duratura popolarità.

GRAZIANI prof. Augusto. — **Le entrate e le spese dello Stato.** — *L. 0.90, legato.*

Vi sono persone le quali, pur impancandosi a giudicare di politica finanziaria, di imposte, di debito pubblico, di conversione della rendita, di dazî doganali, di riforma tributaria in un senso o nell'altro, a seconda del giornale che leggono, ignorano però tutto di quel complicato meccanismo aspirante e premente che è il bilancio dello Stato; la distribuzione dei pesi e dei benefici che ne derivano; gli organi per mezzo dei quali esercita la sua funzione; i principî in base ai quali si commisurano gli oneri dei singoli; i doveri, i diritti e le guarentigie dei contribuenti. Non è a dire quanto quest'ignoranza, più diffusa che non si creda, nuoccia individualmente e socialmente. Il cittadino, pur avendo diritto di voto, non avrà discernimento alcuno per esercitarlo con criterio e sarà socialmente un'entità passiva.

Questo libro del Graziani, uno de' più autorevoli fra gli scrittori italiani di Scienza delle finanze, ha appunto lo scopo di orientare il popolo nella selva intricata della finanza di Stato e dargli coscienza della parte che esso vi rappresenta come contribuente e come cittadino interessato al buon andamento dell'azienda sociale

RICCHIERI prof. Giuseppe. — **La Libia.** — *L. 1.50. Con illustrazioni e du tavole a colori, legato.*

Comunque si giudichi la nostra ultima impresa coloniale, la Libia è ormai

una terra italiana, ed è, quindi, necessario che gli Italiani imparino a conoscerla un po' meglio e un po' più posatamente di quanto sia stato loro possibile leggendo sui giornali le impressioni episodiche dei corrispondenti di guerra e sui libri d'occasione le pagine descrittive di una città, di un'oasi, di un marabutto, di una giornata di *ghibli*, di un tramonto nel deserto, e via dicendo. La Libia come regione geografica, con la configurazione e la struttura del suo suolo, con la sua storia geologica, le sue culture, i suoi esploratori, il suo clima, il suo valore economico e strategico; le vie di comunicazione, gli abitanti, le loro vicende, i loro costumi e ogni altro ragguaglio che può servire alla conoscenza del paese e autorizzare fondati pronostici per l'avvenire di esso, è in questo volume esposto e descritto con semplice e suadente fascino di forma, e giudicato con la serena equanimità dell'uomo di scienza, che serve innanzi tutto alla verità.

Questo libro, pur nella sua piccola mole, e nella modestia delle sue intenzioni, è senza alcun dubbio il più completo ed organico contributo recato alla conoscenza della Libia da uno fra i più eminenti geografi italiani. Molte nitide incisioni, due carte geografiche in nero e due a colori, uscite dall'Istituto geografico De Agostini, illustrano mirabilmente il testo ed aggiungono grazie al volume, già di per se stesso attraente, come tutti gli altri usciti in questa ormai notissima « collana » di volgarizzazione scientifica.

MICHIELI prof. AUGUSTO. — **L'America del Nord.** — *Con 58 illustrazioni e due carte geografiche a colori. Legato, L. 1,50.*

Chi, fra le sue memorie di scuola, non ricorda parecchi testi di geografia, sui quali si annoiò mortalmente per lunghe e lunghe ore, nel vano conato di apprendere e ritenere gl'interminabili elenchi di nomi esotici, che nulla dicevano alla mente e non riuscivano a suscitare neppur la più scialba e lontana visione del paese che si doveva imparare a conoscere? La parte che più interessa, perchè costituisce lo scopo per cui si studia geografia, voglio dire la conoscenza degli abitanti, il modo e il perchè si sono stabiliti in quelle date sedi, le loro relazioni col resto del mondo, gli usi e i costumi che reggono la loro vita, le risorse del paese, i rapporti, insomma, che legano gli uomini alla terra e decidono delle forme della loro vita economica e sociale, del loro avvenire e della loro influenza nel mondo; tutta questa parte era completamente trascurata nell'insegnamento tradizionale della geografia, quale almeno s'impartiva nelle scuole elementari e medie.

A tale errore di metodo reagiscono libri come questo del Michieli, che insegna la geografia dell'America del Nord con tanto vivo interesse e con tale snellezza di stile e varietà di episodi, da attrarre l'attenzione e conciliare la simpatia dei meno volonterosi di apprendere. Quando descrive città e paesaggi, quando studia i prodotti del suolo e del mare, l'organizzazione delle colossali industrie nord-americane, le reliquie della primitiva arte degli aborigeni, la vita delle tribù indiane ancora superstiti, dei pacifici eschimesi, dei negri reietti; quando intrattiene i lettori sui lavori immani del Canale di Panamà, che impiegano tanti nostri connazionali; quando esamina il problema preoccupante della nostra emigrazione, il fenomeno doloroso del suo concentramento nelle grandi metropoli, i trionfi e le sconfitte di questo grande esodo di nostra gente, che va oltre Oceano a mettere in valore le sue mirabili virtù produttrici; il piccolo libro conquide e persuade, come se parlasse, per bocca di un maestro, il cuore di un amico.

Lo adornano una sessantina di riuscitissime fotoincisioni e due carte geografiche a colori, fuori testo.

LORIA prof. ACHILLE. — **L'Evoluzione economica.** — *L. 0.90, legato.*

L'illustre sociologo ed economista ha inteso, scrivendo questo volume per la « collana rossa » di volgarizzazione scientifica, di chiarire al popolo le fasi successive per le quali è passata la vita economica dell'umanità, dalla sua preistoria ai nostri giorni, e spiegare le ragioni profonde che hanno determinato attraverso i secoli il mutarsi degli ordinamenti del lavoro produttivo. Una legge inesorabile incalza gli uomini, che si addensano sempre più nelle loro sedi

terrene, a trarre dal suolo quanto basti alla loro esistenza; e sotto il pungolo di questa dura necessità, vanno incessantemente e faticosamente perfezionando i metodi della produzione, instaurando sempre nuovi regimi economici, attraverso crisi e lacerazioni inevitabili, e foggiando conformi gli ordinamenti politici che li governano.

In queste pagine, di una trasparenza cristallina, la scienza e l'arte s'illuminano a vicenda per dare al lettore la sensazione di rivivere con gli antenati lontani attraverso tutti i regimi economici, dal comunismo primitivo, all'economia servile, all'odierno assetto del lavoro salariato. E lo conquide un senso quasi religioso di ammirazione per l'umana progenie, che crea infaticabilmente la sua storia, e delle necessità che la premono si fa scala per salire verso gnote perfezioni

SARACENI ing. IGINO. — **L'A. B. C. della macchina.** — *Con 108 illustrazioni, L. 1.50, legato.*

Chi vede una macchina in azione, quanto più essa è ingegnosa e complicata, delicata e possente, tanto più è preso di ammirazione per quell'*insieme* di elementi innumerevoli, che si muovono in mille sensi e in mille modi diversi, ma tutti armonici e coordinati ad un fine. Nulla vi è di superfluo e discordante: se togli un particolare minimo, tutta la vita del complesso organismo è colpita da paralisi. Gli è che, mentre l'osservatore profano s'impressiona dell'insieme, ogni particolare ha un valore a sè e costituisce una macchina più semplice, la quale ebbe un inventore suo proprio, si muove secondo leggi particolari e potrebbe entrare a far parte di un altro organismo complesso del tutto diverso da quello in cui l'abbiamo visto applicato. Quando noi diciamo: la locomotiva fu inventata da Stephenson, vogliamo significare che una lunghissima serie d'invenzioni meccaniche precedenti, dovute a studiosi e a sperimentatori di tutte le età, non escluse le remotissime, furono utilizzate da Stephenson e applicate alla sua locomotiva. La leva, la ruota, la vite sono macchine semplici, che entrano come elementi indispensabili in ogni più poderoso macchinismo. Modesti ed umili, vanno a confondersi nell'insieme, a cui solo si volge l'ammirazione dell'osservatore.

L'origine, la ragione e il funzionamento degli elementi che compongono la macchina sono esposti e chiariti con diligenza ed evidenza in questo volumetto del Saraceni, che supera di gran lunga qualunque tentativo precedente di volgarizzazione tecnologica e può riuscire utilissimo sia all'operaio meccanico che vuol darsi ragione dei fini del suo lavoro, sia allo studente che voglia approfondire le scarse nozioni di meccanica teorica apprese sui testi scolastici, sia a tutti indistintamente coloro che non si contentano di passare insensibili ed estranei davanti alle più caratteristiche manifestazioni della scienza e del lavoro.

BAILA Dott. EUGENIO. — **Igiene professionale.** — *L. 0.90, legato.*

La vita umana si logora assai più del necessario fra le classi lavoratrici, non perchè il lavoro costituisca di per sè stesso un regime di esistenza anormale e innaturale, ma perchè il più delle volte le persone che vivono di esso non hanno alcuna conoscenza delle condizioni nelle quali il lavoro deve compiersi per non riuscire nocivo e talvolta esiziale alla salute. Le professioni insalubri, nelle quali le stesse materie che si adoperano esalano veleni e producono malattie tristissime, come il saturnismo, il mercurialismo, il fosforismo, ecc.; le infezioni che hanno origine dal lavoro (carbonchio, malaria, anchilostomiasi); l'azione deleteria della polvere che s'inspira in certe industrie; il lavoro in ambienti chiusi e in posizioni viziate; le alterazioni profonde che dal lavoro insalubre derivano all'organismo umano, devastandolo; gli infortuni a cui va soggetto il lavoratore e le provvidenze sociali che ne attenuano i danni economici e disciplinano il lavoro quando si svolge in condizioni speciali di pericolo e di pena, tutto è con lucidezza e calore comunicativo insegnato a gli operai nelle otto lezioni contenute in questo volumetto, che è riuscito uno dei più praticamente utili fra i molti pubblicati nella notissima « collana » di volgarizzazione scientifica, edita dalla Federazione Italiana delle Biblioteche Popolari e dall'Università Popolare Milanese.

BERTARELLI prof. ERNESTO. — **Politica sanitaria.** — *L. 0.90, legato.*

Ernesto Bertarelli è, con Pio Foà, con Achille Sclavo e con pochi altri, uno degli apostoli più operosi e convinti della propaganda igienica in Italia. Dopo avere spiegato al popolo in un precedente volumetto di questa « collana » — *Igiene sociale* — l'origine, i pericoli e i rimedi delle malattie contagiose, espone in questo i mezzi e i metodi della difesa organizzata che la società (Stato, Provincie, Comuni, Opere pie) oppone alle insidie dei morbi, a salvaguardia della pubblica salute. La nostra legislazione sanitaria, ignota alla maggior parte de gli Italiani, eppur tanto lodata all'estero; la somma degli sforzi, dei mezzi, degli ordinamenti che provvedono alla difesa igienica delle nostre popolazioni; i progressi conseguiti, le deficienze a cui si deve ancora riparare, gli ideali igienici di una civiltà in cammino, si spiegano al lettore di questo volumetto con l'evidenza e l'interesse di cose rese come presenti e sensibili dal vivo fervore con cui furono dettate, ad ammaestramento del popolo italiano.

VICIANI prof. GAETANO. — **Le principali leggi della meccanica.** — *L. 1.50, illustrato e legato.*

V'è una parte della fisica che si esplica in fatti continui sotto gli occhi e le mani del popolo lavoratore, governando tutte le forme dell'attività produttiva. Questa parte della fisica è la *meccanica;* la quale, conosciuta nelle sue leggi fondamentali, non solo insegna, a chi fatica, l'economia dello sforzo e la rispondenza del mezzo al fine, spiegando i fenomeni di *moto* e di *forza* nelle loro infinite manifestazioni e applicazioni, e ponendoli a fondamento di tutti i mestieri; ma, riadducendo a un'origine e a una causa il volo di un insetto e il moto degli astri, rivela a gli uomini — occupati delle loro piccole necessità — la profonda unità delle leggi che governano la vita del mondo sensibile. Questi insegnamenti e questa luce trarranno dal volumetto Viciani i lavoratori studiosi, a cui si rivolge.

ENRIQUES dott. PAOLO. — **I Mammiferi e gli Uccelli.** — *L. 1.50, illustrato e legato.*

L'uomo, in generale, s'interessa poco a gli altri esseri viventi, che in numero infinito nascono, crescono e muoiono sul nostro pianeta. Eppure molti di essi gli vivono accanto, amici devoti o nemici insidiosi; alcuni entrando come elementi importanti nella economia della sua vita individuale e sociale, altri persino partecipando alle manifestazioni della sua vita morale, come creature fraterne. Si pensi un istante alla profonda trasformazione che subirebbe l'umana convivenza, se ad un tratto tutti gli animali scomparissero dalla faccia della terra. La mente rifugge smarrita, davanti alle conseguenze d'un simile evento. Eppure quanti di noi ignorano tutto, o quasi, di questi esseri, anche di quelli che ci vivono più vicini, come i mammiferi e gli uccelli, che — se non altro — hanno comune con noi tanta parte del loro meccanismo vitale. Questo volumetto fu appunto concepito e scritto per iniziare la gente desiderosa di nozioni utili e sane, alla conoscenza di una vasta parte del mondo animale, pieno di tante meraviglie e fecondo di tanti ammaestramenti. La sua singolarità consiste nell'aver saputo avvivare di umana simpatia lo studio degli esseri bruti, e fatto sentire, quasi francescanamente, come ciascuno di essi partecipi della nostra natura fondamentale e sia un episodio della vita universa, comunque se ne concepiscano le origini e i destini.

QUINTAVALLE ing. U. — **L'elettricità industriale.** — *L. 1.50 illustrato e legato.*

Le applicazioni dell'elettricità sono ormai infinite. In casa, nella strada, sotterra, in aria corrono e agiscono i suoi invisibili spiriti e l'occhio del profano guarda sbigottito gli effetti di questa forza ignota, che vien di lontano pel tenuissimo tramite di un filo. L'a. si è proposto di prender per mano

questo ignaro e di condurlo amorevolmente attraverso il sorprendente mistero, per mostrargli e spiegargli, con parole limpide e sobrie, l'origine, la natura e le applicazioni dell'elettricità, i congegni - dai più elementari ai più complessi - per cui essa esprime la sua potenza e moltiplica lo sforzo dell' uomo e trasforma le energie disordinate e rovinose della natura in lavoro produttivo. Molte figure di sorprendente chiarezza, disegnate dallo stesso a., riescono a un vivo commento del testo. E' un libriccino d' oro, dove si apprende come avendo innanzi non parole, ma cose, spiegate dalla viva voce di un maestro.

FLAMINI F. — **I principali scrittori italiani del Trecento.** — *L. 0.90, legato.*

Nell'ormai notissima « collana » di volgarizzazione scientifica, edita a fini disinteressati di coltura popolare, coll'ausilio di munifici oblatori, esce questo aureo volumetto del Flamini, che, primo — crediamo — fra gli scrittori italiani, si è accinto all'ardua impresa di parlare a gli operai di storia letteraria e di iniziarli alla conoscenza dei poeti e prosatori, i quali fecero del 300 il secolo aureo della nostra letteratura. Compito nuovissimo, a cui non poteva sobbarcarsi che un dotto e un artista come Francesco Flamini, profondamente convinto che la grande, l'immortale poesia è patrimonio di tutti e che il popolo è particolarmente disposto ad intenderla, per la freschezza d' entusiasmo che lo anima, per la facoltà — ch' esso conserva intatta — di commuoversi, per l'immediatezza d'impressione ch'esso rivela dinanzi alle cose belle, quando chi gliele presenti abbia cura — come appunto ha fatto il Flamini — di mostrargliele con atto semplice e parola dimessa, senza ingombro di erudizione, ma avendo soltanto cura di porgere, su un chiaro fondo di storia e in sobri contorni esplicativi, quanto di più alto e di più commosso uscì dalla mente di quei grandi e ingenui primitivi.

REPOSSI prof. EMILIO — **L' origine della terra.** — *L. 1.50 illustrato e legato.*

Legga questo libriccino chiunque voglia, con poco studio e nessuno sforzo di mente, farsi un' idea chiara della Terra su cui abitiamo, del posto che essa occupa nell'universo, della sua interna struttura e dei fenomeni che ne mutano lentamente ma incessantemente la superficie. Lo legga chi vorrà, con la scorta dei fatti, ricostruire l'origine del nostro pianeta e la sua storia geologica, e vorrà veder rievocati con vivezza di colori da uno scienziato artista le fasi successive per cui il globo dovette passare dallo stato gassoso allo stato solido, attraverso indescrivibili cataclismi, ed emergere continenti ed aprirsi le sconfinate voragini del mare ; mentre nascevano dal mare le prime forme della vita organica, che poi doveva invadere tutte le terre emerse Nelle 140 paginette di questo volume, adorne di frequenti e originalissime fotoincisioni, si apprende quanto talora non è dato ritenere studiando ponderosi e farragginosi trattati. Come operetta di volgarizzazione, crediamo che la nostra letteratura scientifica non ne possegga alcun'altra di eguale valore.

FOÀ prof. PIO. — **Igiene sessuale.** — *L. 1.50, illustrato e legato.*

Pio Foà ha, quasi solo, imposto alla considerazione degli Italiani l'educazione sessuale della gioventù. Come ne fu il più convinto assertore, ne è il più tenace propagandista. In questo volumetto, che tratta ordinatamente di tutta *la vita sessuale*, con un ardimento che a taluno potrà sembrare temerità per un libro destinato ai giovani e al popolo, l' illustre fisiologo dell' Università di Torino ha dato all' igiene e all'educazione sessuale degli Italiani una piccola guida avvincente e perfetta. L'alta serenità dello scienziato ha saputo restituire un senso augusto ai mirabili fenomeni di natura, dai quali si esprime la vita, perpetuandosi in sempre nuove generazioni. Ispirando il disgusto dei facili amori, con la visione orrenda dei mali che producono all' individuo e alla razza; insegnando tutto a tutti, perchè bisogna conoscere il nemico per difendersi dalle sue insidie, persuade ai giovani la castità fino al matrimonio e sommette l' istinto al governo della ragione.

FERRARI Dr. Francesco — **Struttura, funzionamento e igiene del nostro organismo.** — *Con illustrazioni e una tavola a colori, scomponibile. — L. 1.50 legato.*

L'a., notissimo in Italia per la sua tenace propaganda contro l'alcoolismo, è fra coloro che meglio intendono il compito sociale della medicina. E al popolo, che disperde inconscio i suoi tesori di salute in un regime di vita ribelle a ogni controllo di ragione, egli dedica questo aureo libretto di *anatomia, fisiologia e igiene dell'umano organismo,* in cui non sappiamo se lodare maggiormente l'ordine e la cristallina chiarezza dell'esposizione, o l'accento vivido e caldo dell'eloquio, che è solo degli uomini di dottrina e di fede. Notevole sopra tutto l'intento di spiegare al popolo i segreti del complicato meccanismo vitale, affinchè il precetto igienico ne scaturisca come necessario e naturale, acquistando una forza di convinzione, che non avrebbe se l'igiene fosse insegnata come un *a priori* qualunque.

SALDINI Ing. Prof. Cesare. — **Prime nozioni di filatura.** — *L. 1.50, illustrato e legato.*

Docente di tecnologia meccanica al Politecnico di Milano, direttore di grandi aziende industriali di filatura e membro de' più alti consessi consultivi che lo Stato creò a presidio e a incremento del lavoro nazionale, nessuno meglio di C. Saldini poteva iniziare la studiosa gioventù operaia alla conoscenza dei processi e degli ordigni necessari a trasformare le fibre vegetali, animali e minerali nei sottilissimi fili, che — variamente intrecciati e coloriti — servono all'uomo di tutte le età e in tutte le latitudini a riparare il suo corpo, indifeso da schermi naturali, dalle inclemenze del clima. La storia della civiltà, che si insegna faticosamente nelle scuole, assommandola in nome di grandi e in date di battaglie, è invece qui, in quest'oscuro e lungo ascendere delle forme e dei mezzi offerti all'umano lavoro: simboli e termini il fuso e il filatoio meccanico.

CALDARA Avv. Emilio. — **Il Comune e la sua amministrazione.** — *L. 0,90, legato.*

Il Direttore dell'Associazione dei Comuni italiani ha dettato per la « collana rossa » questo volumetto, che inizia il popolo alla politica municipale, attraverso la storia, la costituzione giuridica e il meccanismo funzionale del Comune. L'esposizione precisa, ordinata e lucida, propria solo di chi ha fatto del Comune l'oggetto precipuo de' suoi studi e della sua quotidiana attività, accompagna il lettore per tutti i meandri della vita municipale, spiegandone gli organi, le funzioni, le risorse, i poteri e la tendenza a svincolarsi dalla tutela oppressiva dello Stato, per riconquistare, almeno in parte, la sua gloriosa autonomia. Libretto, nella sua modestia, indispensabile a fare quell' educazione civica del popolo italiano, di cui tanto si lamenta la deficienza. Dovrebbero diffonderlo specialmente coloro — istituti e partiti — cui sta a cuore una sempre più cosciente partecipazione del popolo al governo del Comune.

RODOLICO Prof. Niccolò. — **Le civiltà antiche. L'Oriente e l'Egitto.** — *L. 1.50, illustrato e legato.*

In generale, la scuola primaria non insegna ai figli del popolo altra storia se non quella che comincia con Romolo e Remo; sì che per molti di essi il mondo, l'uomo e le sue vicende incominciarono con Roma, e prima di Roma.... v'era il *caos*, come nella genesi prima di Dio. Non poco interesse desterà, quindi, nel popolo, a cui si rivolge, questo volumetto che rievoca le antichissime civiltà estinte dell'Oriente e d'Egitto, non solo nella vita dei re e degli eroi, ma anche nell'intima costituzione di quelle società tanto diverse dalle nostre, e pure già fondate sul lavoro e la produzione più che sulla guerra e la conquista. Estremamente interessante in questo libretto la visione, quasi apocalittica, delle immense tragedie storiche in cui perirono popoli e civiltà che s'erano credute eterne.

CASALINI Dott. Mario. — **Cooperazione e mutualità agraria.** — *L. 0.90, legato.*

Operetta elementare, che narra la storia degli sforzi per i quali i coltivatori isolati, vinti gli impulsi del loro miope e gretto particolarismo, sfuggirono ai danni della natura e alle sopraffazioni della concorrenza, associando le loro piccole aziende e affrontandone i rischi in comune. Ma il volumetto è sopratutto una guida preziosa attraverso il vario e vasto mondo della cooperazione e della mutualità agraria, e chi lo legge v'impara come si costituisca e funzioni ogni varietà di cooperative e mutue, nei riguardi colla legge e con la pratica. Opera di singolare chiarezza e suggestione, che può contribuire efficacemente a formare quella *educazione della solidarietà*, di cui il popolo italiano ha tanto bisogno.

MICHIELI A. — **L'Africa.** — *L. 1.50 con illustrazioni e una carta a colori.*

E' il terzo volumetto che il valente geografo scrive per questa « collana », segnando ancora un passo notevole verso la perfezione, tanto difficile a raggiungersi in operette come queste, che devono — insegnando — conciliarsi l'attenzione e l'interesse di una certa varietà di lettori, capaci di arrestarsi alla prima pagina, se il libro non li diletta. E veramente dilettevole riesce questa descrizione dell'Africa, cui prelude la storia drammatica delle molte esplorazioni, che la rivelarono ormai quasi intera al resto dell'umanità. L'episodio frequente, il richiamo alle odierne competizioni internazionali per il predominio su quello sterminato paese, pieno di avvenire, la viva rappresentazione dei costumi delle sue genti e delle sue caratteristiche naturali, fanno di questo volumetto una lettura proficua anche alle persone colte, che in generale rifuggono dallo studio della geografia, come da una delle materie più aride... e meno necessarie.

VIGEVANI Dott. Giuseppe. — **Igiene della generazione.** — *L. 0.90, legato.*

L'a., già noto per altri lavori di educazione sessuale, che pervennero a meritata popolarità, ha scritto questo volumetto in collaborazione con una signora di alto sentire, *Fanny Norsa Pisa*, presidente della Cassa di Maternità di Milano, e mentre l'uno vi ha messo la sua scienza, l'altra vi ha infuso evidentemente la sua anima, per fare del limpido volumetto un poema delicato di maternità. Tutto il meraviglioso processo della generazione e della prima età del bambino, dal concepimento alla nascita, dal suo primo vagito a gli albori crepuscolari della sua personalità, è in queste pagine seguito con la trepida ansia di chi vuole insegnare quale immensa ricchezza si salvaguardi alla società con la vita di un bambino che cresca sano per le prove che lo attendono.

BACHI Prof. Riccardo. — **La questione economica delle abitazioni.** — *L. 0.90, legato.*

Appartiene alla serie *Questioni sociali di attualità* di questa ormai notissima « collana » di volgarizzazione. Dopo un rapido cenno storico sull'evoluzione della casa, da quando ognuno se la costruiva da sè con tronchi d'alberi, foglie, fango, pietre, ecc., passa ad esaminare il problema economico dell'abitazione moderna dal punto di vista del produttore e dell'inquilino e nei rapporti intermedi del proprietario dell'area fabbricabile, dell'imprenditore, del lavoratore edile e del proprietario finale della casa, dietro cui spesso si nasconde il capitalista o la Banca, che gli hanno prestato, in tutto o in parte, i mezzi necessari alla costruzione o all'acquisto. Particolare attenzione è data alle case popolari e all'intervento dei poteri pubblici per attenuare la fame di abitazioni per i meno abbienti, alle cooperative ed agli enti speciali che le costruiscono ed amministrano. In appendice è esposto lo stato presente della nostra legislazione sulle case popolari e reso conto di quel che si è fatto per esse nelle principali città d'Italia. Il volumetto ha pregi di chiarezza e di evidenza non comuni.

BONOMI Prof. Ivanoe. — **Le entrate e le spese delle Provincie e dei Comuni.** — *L. 0.90, legato.*

La vita economica dei Comuni e delle Provincie non poteva avere un espositore più autorevole di Ivanoe Bonomi, che le finanze degli Enti locali illustrò in libri e in discorsi parlamentari non dimenticati. I bilanci delle Provincie e dei Comuni, a traverso i quali spesso non sanno leggere neppur coloro che il popolo presceglie col suo voto ad amministrare la cosa pubblica, sono chiariti in questo volumetto a chiunque li alimenta come contribuente, cioè a tutti; perchè vi si dimostra, fra l'altro, che i poveri, a cui nulla chiede lo esattore direttamente, contribuiscono in maggior misura dei ricchi, pagando gli enormi dazi di consumo, sui quali prevalentemente riposa la vita economica di moltissimi Comuni italiani. I servizi pubblici, a cui Provincie e Comuni provvedono; l'esercizio diretto di grandi aziende di utilità collettiva, le relazioni d'interessi fra lo Stato e gli Enti locali e la necessità di una profonda riforma che le semplifichi, attenuando in pari tempo il carico delle oberate finanze locali e instaurando una più equa distribuzione dei tributi, dànno argomento al resto del volumetto, che non poteva rispondere meglio alle specialissime esigenze della coltura popolare.

SUPINO Prof. Camillo. — **Le crisi industriali.** — *L. 0.90, legato.*

Nella serie « questioni sociali di attualità » della ben nota biblioteca di cultura popolare, esce questa succinta ma completa trattazione delle crisi che turbano — secondo alcuni a periodi fissi — il mondo della produzione, rovinando industrie prima fiorenti e gettando sul lastrico moltitudini di lavoratori. Causa essenziale, la impossibilità di controllare la produzione, per metterla in armonia coi consumi; donde spesso un'offerta assai maggiore della domanda, e quindi deprezzamento dei prodotti, rovina delle industrie, diminuzione dei salari, disoccupazione. In questo fenomeno economico e sociale de' più calamitosi, difficilissimo veder chiaro. Il Supino è forse fra gli economisti italiani quello che più vi ha profondato lo sguardo. Ora ha voluto parlarne a coloro, cui il fenomeno interessa al sommo grado, agli operai e al popolo, che più duramente ne risentono gli effetti. E non v'ha dubbio che ogni lettore, anche di limitatissima cultura economica, capirà.

PINCHERLE Ing. Gustavo. — **Ponti, gallerie e canali navigabili.** — *L. 1.50, illustrato e legato.*

Questo volumetto del giovane docente al Politecnico di Milano non pretende già di abilitare i lettori alla costruzione dei ponti, delle gallerie e dei canali, che sono opera di alta ingegneria e di molta responsabilità: ma vuole — come quasi tutti i volumetti di carattere tecnico compresi in questa « collana » — rispondere più modestamente a quella sana, utile e fondamentale curiosità, che è il massimo incentivo alla cultura, quando spinge tutte le persone di mente attiva a cercare la spiegazione di un fatto di natura o di un'opera notevole dell'uomo. I grandi mezzi che aboliscono i divieti opposti alle libere comunicazioni delle genti, che congiungono vie di terra su distese di acque o aprono vie di acque attraverso terre prima congiunte, o schiudono tramiti nel profondo cuore delle montagne, meritavano di offrire materia a uno dei preziosi volumetti di questa serie, che è riuscito tecnico quanto basta a dare una idea precisa dell'argomento che tratta, senza annoiare i profani, e vario quanto occorre a farsi leggere senza sforzo. Inoltre, il racconto delle innumeri difficoltà vinte da coloro che aprirono le gallerie del Sempione o scavarono i canali di Suez e di Panama o compirono altre opere memorande del genere, introduce nell'operetta un elemento morale ed educativo, che non è il suo pregio minore.

MONTEMARTINI Prof. LUIGI. — **La vita delle piante.** — *L. 1,50, illustrato e legato.*

Che cosa di più noioso dell'insegnamento della botanica, impartito coi vecchi sistemi? Una lunga teoria di piante indigene ed esotiche, distinte coi loro nomi latini e descritte una per una, in ogni loro parte, con un linguaggio tecnico che ha la rigidità e la freddezza delle formule. Ma provate a cambiar sistema: considerate ogni pianta come una creatura viva, penetrate nel suo interno a sorprendervi le funzioni delicate della nutrizione e del ricambio, svelate la poesia dei suoi amori, la intima corrispondenza delle forme alla suprema necessità della propagazione, leggete la storia della sua vita nella vivente compagine delle fibre, studiatela nelle sue relazioni con le altre creature del mondo vegetale e animale, e v'interesserete alla botanica come a una storia di anime.

A questo obiettivo mirò L. M. dettando il suo volumetto per la ormai notissima « Collana Rossa », e ci sembra che abbia toccato il segno.

CALZECCHI-ONESTI prof. T. — **Il suono e la luce.** — *Con 141 figure e una tavola a colori fuori testo; pagg. 128 per L. 1.50, legato.*

L'A. ha continuato con questo volumetto la trattazione piana e avvincente degli *elementi di fisica*, che iniziò per la « Collana rossa » con « I liquidi e i gas ». L'*acustica* e l'*ottica* sono, in queste pagine, spiegate nelle loro leggi e nelle loro applicazioni per via di esperimenti e continui richiami ai fenomeni più comuni, che ci cadono sotto gli occhi cento volte al giorno e che a torto ci lasciano indifferenti. Dalla vita stessa del popolo e dall'ambiente in cui si svolge, trarre le occasioni e gli elementi per ammaestrarlo intorno a ciò che avviene in questo mondo, che dobbiamo pur conoscere sempre meglio se vogliamo dominarlo, è ormai da tutti riconosciuto come unico mezzo efficace per volgarizzare il sapere. E a questo metodo rigorosamente si attiene l'A., che ha potuto esperimentarne l'eccellenza in moltissimi anni d'insegnamento; per cui questo limpido saggio è da ritenersi, fra i libri del genere, il più accessibile forse alla mentalità popolare.